MICHIO KAKU

FIZIKA BUDUĆNOSTI

KAKO ĆE ZNANOST OBLIKOVATI LJUDSKU SUDBINU I NAŠE SVAKODNEVNE ŽIVOTE DO 2100. GODINE

DR. MICHIO KAKU
PROFESOR TEORIJSKE FIZIKE
CITY UNIVERSITY U NEW YORKU

FIZIKA BUDUĆNOSTI

KAKO ĆE ZNANOST OBLIKOVATI LJUDSKU SUDBINU
I NAŠE SVAKODNEVNE ŽIVOTE DO 2100. GODINE

MATE marketing tehnologija
zagrebačka škola ekonomije i managementa
zagreb school of economics and management

BIBLIOTEKA «GOSPODARSKA MISAO»

Michio Kaku:

Fizika budućnosti: kako će znanost oblikovati ljudsku sudbinu

Naslov izvornika

Physics of the future: how science will change daily life by 2100

Copyright © 2011 Michio Kaku

All rights reserved. Published in the United States by Doubleday, a division of Random House, Inc., New York, and in Canada by Random House of Canada Limited, Toronto.

Za hrvatsko izdanje Copyright © 2011 MATE d.o.o. Zagreb

Sva prava pridržana. Nije dopušteno niti jedan dio ove knjige reproducirati ili distribuirati u bilo kojem obliku ili pohraniti u bazi podataka bez prethodnog pismenog odobrenja nakladnika.

Nakladnik

MATE d.o.o., Zagreb

Za nakladnika

Vesna Njavro

Glavni urednik

dr. sc. Đuro Njavro

Mato Njavro, MA

Prevoditelj

Jakša Bilić, prof.

Redaktor

mr. sc. Marko Grba

ISBN: 978-953-246-134-3

ISBN EPUB: 978-953-246-263-0

od istoga autora

Fizika nemogućega

Usporedni svjetovi

Hiperprostor

Vizije

Einsteinov svemir

Nakon Einsteina

Mojoj voljenoj supruzi, Shizue,
mojim kćerima, Michelle i Alyson

ZAHVALE

Htio bih zahvaliti onim osobama koje su neumorno radile da ova knjiga postane uspješnicom. Prvo bih želio zahvaliti svojim izdavačima, Rogeru Schollu, koji je vodio izdavanje mnogih mojih prijašnjih knjiga i koji mi je predložio da napišem ovako izazovnu knjigu, i svakako Edwardu Kestenmeieru, koji je strpljivo predložio nebrojene izmjene koje su uvelike osnažile i učvrstile njen izgled. Htio bih zahvaliti Stuartu Krichevskom, svojemu dugogodišnjemu zastupniku, koji me uvijek poticao da se suočim s novim i uzbudljivijim izazovima.

Naravno, želio bih zahvaliti više od tri stotine znanstvenika s kojima sam raspravljao ili ih ispitivao o znanosti. Ispričavam im se zato što sam dovlačio televizijske ekipe BBC-TV-a ili Discovery i Science channela u njihove laboratorije i postavljao im mikrofone i televizijske kamere ispred nosa. Time sam možda nasilno prekinuo njihovo istraživanje, ali se nadam da je konačni proizvod bio toga vrijedan.

Zahvalio bih nekolicini tih prvaka i zvijezdama vodiljama:

Eric Chivian, dobitnik Nobelove nagrade, Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School

Peter Doherty, dobitnik Nobelove nagrade, St. Jude Children's Research Hospital

Gerald Edelman, dobitnik Nobelove nagrade, Scripps Research Institute

Murray Gell-Mann, dobitnik Nobelove nagrade, Santa Fe Institute i Caltech

Walter Gilbert, dobitnik Nobelove nagrade, Harvard University

David Gross, dobitnik Nobelove nagrade, Kavli Institute for Theoretical Physics

† Henry Kendall, dobitnik Nobelove nagrade, MIT

Leon Lederman, dobitnik Nobelove nagrade, Illinois Institute of Technology

Yoichiro Nambu, dobitnik Nobelove nagrade, University of Chicago

Henry Pollack, dobitnik Nobelove nagrade, University of Michigan

Joseph Rotblat, dobitnik Nobelove nagrade, St. Bartholomew's Hospital

Steven Weinberg, dobitnik Nobelove nagrade, University of Texas u Austinu

Frank Wilczek, dobitnik Nobelove nagrade, MIT

Amir Aczel, autor djela *Uranium Wars*

Buzz Aldrin, bivši NASA-in astronaut, drugi čovjek koji je kročio na Mjesec

Geoff Andersen, znanstveni suradnik, United States Air Force Academy, autor djela *The Telescope*

Jay Barbree, dopisnik NBC-a, koautor djela *Moon Shot*

Marcia Bartusiak, autor djela *Einstein's Unfinished Symphony*

Jim Bell, profesor astronomije, Cornell University

Jeffery Bennet, autor djela *Beyond UFOs*

Bob Bermann, astronom, autor djela *Secrets of the Night Sky*

Leslie Biesecker, voditelj Genetic Disease Research Branch pri National Institutes of Health

Piers Bizony, znanstveno-popularni pisac, autor djela *How to Build Your Own Spaceship*

Michael Blaese, bivši znanstvenik pri National Institutes of Health

Alex Boese, osnivač Museum of Hoaxes

Nick Bostrom, transhumanist, Oxford University

Lt. Col. Robert Bowman, Institute for Space and Security Studies

Lawrence Brody, voditelj projekta Genome Technology Branch, National Institutes of Health

Rodney Brooks, bivši ravnatelj, MIT Artificial Intelligence Laboratory

Lester Brown, osnivač Earth Policy Institute

Michael Brown, profesor astronomije, Caltech

James Canton, osnivač Institute for Global Futures, autor djela *The Extreme Future*

Arthur Caplan, ravnatelj, Center for Bioethics, University of Pennsylvania

Fritjof Capra, autor djela *The Science of Leonardo*

Sean Carroll, kozmolog, Caltech

Andrew Chaikin, autor djela *A Man on the Moon*

Leroy Chiao, bivši NASA-in astronaut

George Church, ravnatelj, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Thomas Cochran, fizičar, Natural Resources Defense Council

Christopher Cokinos, znanstveno-popularni pisac, autor djela *The Fallen Sky*

Francis Collins, ravnatelj, National Institutes of Health

Vicki Colvin, ravnatelj, Biological and Environmental Nanotechnology, Rice University

Neil Comins, autor djela *The Hazards of Space Travel*

Steve Cook, ravnatelj odjela Space Technologies, tvrtka Dynetics, bivši glasnogovornik NASA-e

Christine Cosgrove, autor djela *Normal at Any Cost*

Steve Cousins, predsjednik i izvršni direktor, Willow Garage

Brian Cox, fizičar, University of Manchester, znanstveni izlagač pri BBC-u

Phillip Coyle, bivši pomoćni tajnik obrane, U.S. Defense Department

Daniel Crevier, autor djela *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence,* izvršni direktor tvrtke Coreco

Ken Croswell, astronom, autor djela *Magnificent Universe*

Steven Cummer, računalne znanosti, Duke University

Mark Cutkosky, strojarski inženjer, Stanford University

Paul Davies, fizičar, autor djela *Superforce*

Aubrey de Gray, glavni znanstveni službenik, SENS Foundation

† Michael Dertouzos, bivši ravnatelj, Laboratory for Computer Science, MIT

Jared Diamond, dobitnik Pulitzerove nagrade, profesor zemljopisa, UCLA

Mariette DiChristina, glavni izdavač, *Scientific American*

Peter Dilworth, bivši znanstvenik u laboratoriju MIT AI

John Donoghue, osnivač BrainGate, Brown University

Ann Druyan, udovica Carla Sagana, Cosmos Studios

Freeman Dyson, umirovljeni profesor fizike, Institute for Advanced Study, Princeton

Jonathan Ellis, fizičar, CERN

Daniel Fairbanks, autor djela *Relics of Eden*

Timothy Ferris, umirovljeni profesor pri University of California, Berkeley, autor djela *Coming of Age in the Milky Way*

Maria Finitzo, autorica dokumentarnih filmova, dobitnica Peabody Award, autor djela *Mapping Stem Cell Research*

Robert Finkelstein, stručnjak za umjetnu inteligenciju

Christopher Flavin, WorldWatch Institute

Louis Friedman, suosnivač Planetary Society

James Garvin, bivši glavni istraživač NASA-e, NASA Goddard Space Flight Center

Evalyn Gates, autor djela *Einstein's Telescope*

veleposlanik Thomas Graham, stručnjak za špijunske satelite

Jack Geiger, suosnivač Physicians for Social Responsibility

David Gelernter, profesor računalnih znanosti, Yale University

Neil Gershenfeld, ravnatelj, Center of Bits and Atoms, MIT

Paul Gilster, autor djela *Centauri Dreams*

Rebecca Goldburg, bivša viša znanstvenica pri Environmental Defense Fund, ravnateljica Marine Science, Pew Charitable Trust

Don Goldsmith, astronom, autor djela *The Runaway Universe*

Seth Goldstein, profesor računalnih znanosti, Carnegie Mellon University

David Goodstein, bivši pomoćnik dekana Caltech-a, profesor fizike

J. Richard Gott III, profesor astrofizike, Princeton University, autor djela *Time Travel in Einstein's Universe*

† Stephen Jay Gould, biolog, Harvard Lightbridge Corp.

John Grant, autor djela *Corrupted Science*

Eric Green, ravnatelj, National Human Genome Research Institute, National Institutes of Health

Ronald Green, autor djela *Babies by Design*

Brian Greene, profesor matematike i fizike, Columbia University, autor djela *The Elegant Universe*

Alan Guth, profesor fizike, MIT, autor djela *The Inflationary Universe*

William Hanson, autor djela *The Edge of Medicine*

Leonard Hayflick, profesor anatomije, University of California u San Franciscu, Medical School

Donald Hillebrand, ravnatelj, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory

Frank von Hipple, fizičar, Princeton University

Jeffrey Hoffman, bivši NASA-in astronaut, profesor aeronautike i astronautike, MIT

Douglas Hofstadter, dobitnik Pulitzerove nagrade, autor djela *Gödel, Escher*, *Bach*

John Horgan, Stevens Institute of Technology, autor djela *The End of Science*

Jamie Hyneman, voditelj emisije *MythBusters*

Chris Impey, profesor astronomije, University of Arizona, autor djela *The Living Cosmos*

Robert Irie, bivši znanstvenik u AI Laboratory, MIT, Massachusetts General Hospital

P. J. Jacobowitz, časopis *PC*

Jay Jaroslav, bivši znanstvenik u MIT AI Laboratory

Donald Johanson, paleo-antropolog, otkrivač Lucy

George Johnson, znanstveni novinar, *New York Times*

Tom Jones, bivši NASA-in astronaut

Steve Kates, astronom i voditelj na radiju

Jack Kessler, profesor neurologije, ravnatelj Feinberg Neuroscience Institute, Northwestern University

Robert Kirshner, astronom, Harvard University

Kris Koenig, autor dokumentarnih filmova i astronom

Lawrence Krauss, Arizona State University, autor djela *The Physics of Star Trek*

Robert Lawrence Kuhn, autor dokumentarnih filmova i filozof, televizijska serija na PBS-u pod nazivom *Closer to Truth*

Ray Kurzweil, izumitelj, autor djela *The Age of Spiritual Machines*

Robert Lanza, biotehnologija, Advanced Cell Technology

Roger Launius, koautor djela *Robots in Space*

Stan Lee, autor stripova Marvel Comics i Spider Man

Michael Lemonick, bivši viši znanstveni urednik, časopis *Time*, Climate Central

Arthur Lerner-Lam, geolog, vulkanolog, Columbia University

Simon LeVay, autor djela *When Science Goes Wrong*

John Lewis, astronom, University of Arizona

Alan Lightman, MIT, autor djela *Einstein's Dreams*

George Linehan, autor djela *SpaceShipOne*

Seth Lloyd, MIT, autor djela *Programming the Universe*

Joseph Lykken, fizičar, Fermi National Accelerator Laboratory

Robert Mann, autor djela *Forensic Detective*

Michael Paul Mason, autor djela *Head Cases*

W. Patrick McCray, autor djela *Keep Watching the Skies!*

Glenn McGee, autor djela *The Perfect Baby*

James McLurkin, bivši znanstvenik pri MIT AI Laboratory, Rice University

Paul McMillan, ravnatelj, Spacewatch, University of Arizona

Pattie Maes, MIT Media Laboratory

Fulvio Melia, profesor fizike i astronomije, University of Arizona

William Meller, autor djela *Evolution Rx*

Paul Meltzer, National Institutes of Health

Marvin Minsky, MIT, autor djela *The Society of Mind*

Hans Moravec, profesor istraživač, Carnegie Mellon University, autor djela *Robot*

† Phillip Morrison, fizičar, MIT

Richard Muller, astrofizičar, University of California u Berkeleyju

David Nahamoo, IBM Human Language Technology

Christina Neal, vulkanolog, Alaska Volcano Observatory, U.S. Geological Survey

Michael Novacek, kustos, Fossil Mammals, American Museum of Natural History

Michael Oppenheimer, ekolog, Princeton University

Dean Ornish, profesor kliničke medicine, University of California, San Francisco

Peter Palese, profesor mikrobiologije, Mt. Sinai School of Medicine

Charles Pellerin, bivši službenik NASA-a

Sidney Perkowitz, profesor fizike, Emory University, autor djela *Hollywood Science*

John Pike, ravnatelj, GlobalSecurity.org

Jena Pincott, autor djela *Do Gentlemen Really Prefer Blondes?*

Tomaso Poggio, umjetna inteligencija, MIT

Correy Powell, glavni urednik, časopis *Discover*

John Powell, osnivač JP Aerospace

Richard Preston, autor djela *The Hot Zone* and *The Demon in the Freezer*

Raman Prinja, profesor astrofizike, University of London

David Quammen, znanstveno-popularni pisac, autor djela *Darwin*

Katherine Ramsland, forenzičar

Lisa Randall, profesor teorijske fizike, Harvard University, autor djela *Warped Passages*

Sir Martin Rees, profesor astrofizike i kozmologije, Cambridge University, autor djela *Before the Beginning*

Jane Rissler, Union of Concerned Scientists

Steven Rosenberg, National Cancer Institute, National Institutes of Health

Jeremy Rifkin, osnivač Foundation on Economic Trends

David Riquier, ravnatelj, Corporate Outreach, MIT Media Lab

Paul Saffo, futurolog, bivši zaposlenik u Institute for the Future, gostujući profesor pri Stanford University

† Carl Sagan, Cornell University, autor djela *Cosmos*

Nick Sagan, koautor djela *You Call This the Future?*

Michael Salamon, NASA-in program Beyond Einstein

Adam Savage, voditelj emisije *MythBusters*

Peter Schwartz, futurolog, suosnivač Global Business Network, autor djela *The Long View*

Michael Shermer, osnivač Skeptics Society i časopisa *Skeptic*

Donna Shirley, bivši voditelj, NASA Mars Exploration Program

Seth Shostak, SETI Institute

Neil Shubin, profesor biologije organizama i anatomije, University of Chicago, autor djela *Your Inner Fish*

Paul Shuch, umirovljeni izvršni direktor, SETI League

Peter Singer, autor djela *Wired for War,* Brookings Institute

Simon Singh, autor djela *Big Bang*

Gary Small, koautor djela *iBrain*

Paul Spudis, Planetary Geology Program NASA Office of Space Science, Solar System Division

Steven Squyres, profesor astronomije, Cornell University

Paul Steinhardt, profesor fizike, Princeton University, koautor djela *Endless Universe*

Gregory Stock, UCLA, autor djela *Redesigning Humans*

Richard Stone, *The Last Great Impact on Earth,* časopis *Discover*

Brian Sullivan, bivši zaposlenik u Hayden Planetarium

Leonard Susskind, profesor fizike, Stanford University

Daniel Tammet, autistični učenjak, autor djela *Born on a Blue Day*

Geoffrey Taylor, fizičar, University of Melbourne

† Ted Taylor, dizajner nuklearnih bojnih glava SAD-a

Max Tegmark, fizičar, MIT

Alvin Toffler, autor djela *The Third Wave*

Patrick Tucker, World Future Society

Admiral Stansfield M. Turner, bivši ravnatelj CIA-e

Chris Turney, University of Exeter, Velika Britanija, autor djela *Ice, Mud and Blood*

Neil deGrasse Tyson, ravnatelj, Hayden Planetarium

Sesh Velamoor, Foundation for the Future

Robert Wallace, koautor djela *Spycraft,* bivši ravnatelj CIA-inoga Tehničkoga ureda

Kevin Warwick, ljudski kiborzi, University of Reading, Velika Britanija

Fred Watson, astronom, autor djela *Stargazer*

† Mark Weiser, Xerox PARC

Alan Weisman, autor djela *The World Without Us*

Daniel Werthimer, SETI at Home, University of California u Berkeleyju

Mike Wessler, bivši znanstvenik, MIT AI Lab

Arthur Wiggins, autor djela *The Joy of Physics*

Anthony Wynshaw-Boris, National Institutes of Health

Carl Zimmer, popularno znanstveni pisac, autor djela *Evolution*

Robert Zimmerman, autor djela *Leaving Earth*

Robert Zubrin, osnivač Mars Society

UVOD

Predviđajući sljedećih 100 godina

Carstva budućnosti bit će carstva uma.

— WINSTON CHURCHILL

Dva su događaja u mome djetinjstvu pripomogla da se oblikujem u osobu koja sam danas i da se razviju dvije strasti koje su mi odredile čitav život.

Kao prvo, kad sam imao osam godina, sjećam se da su svi učitelji pričali o smrti velikoga znanstvenika. Te noći se u novinama pojavila njegova slika u uredu nad nedovršenim rukopisom na stolu. U opisu slike stajalo je da najveći znanstvenik našega doba nije uspio dovršiti svoje najveće remek-djelo. Zapitao sam se, što li je toliko teško da ga ni najveći znanstvenik nije uspio dovršiti? Što li je moglo biti toliko složeno i toliko važno? Na kraju mi je to postalo fascinantnije od bilo kakvoga tajanstvenoga ubojstva, intrigantnije od bilo koje avanturističke priče. Morao sam doznati što se krije u tome nedovršenome rukopisu.

Kasnije sam doznao da je znanstvenikovo ime Albert Einstein i da je nedovršeni rukopis trebao biti kruna njegovih istraživanja, njegov pokušaj da postavi "teoriju svega", jednadžbu od svega nekoliko elemenata koja je trebala otkriti tajnu svemira i omogućiti mu da "uđe u Božji um".

Drugo ključno iskustvo iz moga djetinjstva bilo je kad sam subotom ujutro gledao televizijske emisije, osobito seriju *Flash Gordon* u kojoj je glumio Buster Crabbe. Svaki mi je tjedan nos bio zalijepljen za ekran televizora. Na čaroban način bio sam prenesen u tajanstveni svijet svemirskih stvorenja, svemirskih brodova, bitaka laserskim oružjem, podvodnih gradova i čudovišta. Navukao sam se. To je bio moj prvi susret sa svijetom budućnosti. Od toga vremena osjećam djetinje oduševljenje dok promišljam budućnost.

Kad sam međutim pogledao sve epizode serije, počeo sam shvaćati da je serija uspješna zahvaljujući znanstveniku dr. Zarkovu, premda je Flash pokupio sve lovorike. On je izmislio raketni brod, štit koju pruža nevidljivost, izvor energije za grad u zraku i tako dalje. Bez znanstvenika, nema budućnosti. Lijepi i naočiti zadobivaju divljenje društva, ali svi su čudesni izumi budućnosti tvorevine neopjevanih anonimnih znanstvenika.

Kasnije, dok sam pohađao srednju školu, odlučio sam krenuti stopama tih velikih znanstvenika i postaviti izazov svojim sposobnostima učenja. Htio sam biti dio te velike revolucije za koju sam znao da će promijeniti svijet. Odlučio sam izraditi razbijač atoma. Pitao sam majku da mi dopusti izraditi akcelerator čestica od 2,3 milijuna elektrona. Malčice se prepala, ali mi je dala svoje dopuštenje. Potom sam otišao u Westinghouse i u Varian Associates gdje sam nabavio 150

kg čeličnoga vodiča, 35 km bakrene žice, od čega sam složio betatron akcelerator u majčinoj garaži.

Ranije sam već sagradio ionizirajuću komoru sa snažnim magnetskim poljem i uspio sam fotografirati tragove antimaterije. Međutim, fotografiranje antimaterije me nije zadovoljilo. Sada je moj cilj bio proizvesti svežanj antimaterije. Magnetske zavojnice na razbijaču atoma proizvele su ogromno magnetsko polje u vrijednosti od 10 000 Gaussa (otprilike 20 000 puta snažnije od magnetskoga polja Zemlje, što je u načelu dovoljno da vam izbije čekić iz ruke). Stroj je gutao 6 kilovata energije i crpio svu električnu energiju kojom je moja kuća raspolagala. Kad bih upalio stroj, redovito bih izbacio sve osigurače u kući. (Moja se jadna majka zacijelo pitala zašto ne može imati sina koji umjesto toga igra nogomet)

Te su me dvije strasti intrigirale čitav život: želja da shvatim sve fizičke zakone svemira u okviru jedne koherentne teorije i želja da vidim budućnost. Kasnije sam shvatio da su te dvije strasti zapravo komplementarne. Ključ za razumijevanje budućnosti je shvaćanje temeljnih zakona prirode i njihova primjena u izumima, strojevima i terapijama koje će redefinirati našu civilizaciju duboko u budućnost.

Saznao sam da je bilo mnogo pokušaja da se predvidi budućnost, od kojih su neki bili pune korisnih uvida. Ipak, većinom su ih pisali povjesničari, sociolozi, pisci znanstvene fantastike i "futurolozi", odnosno ljudi izvan struke koji predviđaju svijet znanosti bez poznavanja same znanosti iz prve ruke. Znanstvenici, ljudi unutar struke, koji zapravo stvaraju budućnost u svojim laboratorijima, previše su zauzeti otkrićima da bi pisali knjige o budućnosti za širu publiku.

Po tome je ova knjiga drugačija. Nadam se da će ova knjiga dati znanstveničku perspektivu na čudesna otkrića koja nas očekuju te pružiti izvorni i mjerodavni pogled na svijet u 2100.

Naravno, posve je jasno da nije moguće predvidjeti budućnost s potpunom točnošću. Najbolje što možemo pokušati jest da uđemo u umove znanstvenika koji provode istraživanja na samim granicama današnjega istraživanja, koji odrađujući svoj pošteni posao osmišljavaju budućnost. Oni stvaraju uređaje, izume i terapije koje će revolucionirati našu civilizaciju. Ova je knjiga njihova priča. Imao sam prigodu sjediti u prvim redovima te velike revolucije, s obzirom na to da sam intervjuirao za nacionalnu televiziju i radio više od tri stotine vodećih svjetskih znanstvenika, mislioca i sanjara. Poveo sam televizijske ekipe u njihove laboratorije i snimio prototipove uređaja koji će promijeniti našu budućnost. Imao sam rijetku čast da vodim mnogobrojne znanstvene emisije na programima BBC, Discovery Channel i Science Channel te da iscrtam portret značajnih izuma i otkrića onih vizionara koji se usuđuju stvarati budućnost. Budući da sam slobodan raditi na vlastitoj teoriji struna i drugim uhom osluškivati istraživanja na rubu današnjih znanja, smatram da imam jedan od najpoželjnijih poslova u znanosti. Moj dječački san se ispunio.

Ova se knjiga ipak razlikuje od mojih prethodnih. U knjigama poput *Nakon Einsteina, Hiperprostor* i *Paralelni svjetovi* raspravljao sam o svježim i revolucionarnim vjetrovima koji pušu mojim znanstvenim poljem, teorijskom fizikom, i koji otvaraju nove putove razumijevanja svemira. U *Fizici nemogućega* raspravljao sam kako će najnovija otkrića u fizici omogućiti čak i najmaštovitije oblike znanstvene fantastike. Ova knjiga najviše sliči mojoj knjizi *Vizije*, u kojoj raspravljam kako će se znanost razvijati u sljedećim desetljećima. Zadovoljan sam što se mnoga predviđanja iz te knjige danas realiziraju prema rasporedu. Točnost moje knjige ovisila je uvelike o mudrosti i predviđanju mnogih znanstvenika koje sam intervjuirao. Ova pak knjiga pokušava dati mnogo obuhvatniji pogled na budućnost. Raspravlja o tehnologijama koje će se razviti u sljedećih stotinu godina i koje će u konačnici odrediti sudbinu čovječanstva. Kako ćemo se

postaviti prema izazovima i mogućnostima u sljedećih stotinu godina, odredit će krajnji stadij ljudskoga roda.

PREDVIĐANJE SLJEDEĆEGA STOLJEĆA

Predviđanje sljedećih nekoliko godina, a kamoli čitavoga stoljeća, poprilično je obeshrabrujući zadatak. On nas ipak izaziva da sanjamo o tehnologijama za koje vjerujemo da će jednom promijeniti sudbinu čovječanstva.

Godine 1863. veliki romanopisac Jules Verne krenuo je u vjerojatno svoj najambiciozniji projekt. Napisao je proročanski roman, nazvan *Pariz u dvadesetom stoljeću*, u kojemu je upotrijebio svu snagu svoga talenta u osmišljavanje sljedećega stoljeća. Nažalost, rukopis je bio izgubljen u vrtlogu vremena, sve dok ga njegov praunuk nije otkrio 130 godina kasnije kako leži zaključan u sefu. Kad je shvatio na kakvo je blago naišao, uredio je njegovo objavljivanje i roman je postao uspješnicom.

U ono doba, 1863. godine, kraljevi i carevi još su uvijek vladali starim carstvima, dok su siromašni seljaci odrađivali tegoban posao obrađivanja polja. U SAD-u plamtio je građanski rat koji je prijetio da raspolovi državu na dva dijela, a energija pare tek je počinjala mijenjati svijet. Ipak, Verne je predvidio da će Pariz 1960. imati staklene nebodere, klimatske uređaje, televiziju, dizala, brze vlakove, dizel automobile, faks uređaje i čak nešto što nalikuje internetu. Verne je opisao život u modernome Parizu sa začudnom točnošću.

To nije bila puka sreća, s obzirom na to da je nekoliko godina kasnije objavio još jedno spektakularno predviđanje. Godine 1865. napisao je roman, *Od Zemlje do Mjeseca*, u kojemu je predvidio detalje misije koja je poslala astronaute u svemir više od stotinu godina kasnije, 1969. godine. Točno je predvidio veličinu svemirske kapsule, u nekoliko postotaka razlike, zatim lokaciju lansirnoga postrojenja na Floridi nedaleko od Rta Canaveral, broj astronauta na toj misiji, vremensko razdoblje koliko će to putovanje trajati, beztežinsko stanje koje će astronauti iskusiti i krajnje slijetanje u ocean. (Jedina je velika pogrješka bila što je koristio barut, a ne raketno gorivo, da pošalje astronaute na Mjesec. Ipak, rakete na tekuće gorivo izumljene su tek sedamdeset godina kasnije.)

Kako je Jules Verne mogao predvidjeti sljedećih stotinu godina s takvom začudnom točnošću? Njegovi životopisci su nam prenijeli da je on neprestano ispitivao znanstvenike o njihovoj viziji budućnosti, iako sam nije bio znanstvenik. Sakupio je ogroman arhiv koji je predstavljao najveća znanstvena otkrića njegova vremena. Verne je shvatio više od svih ostalih da je znanost motor koji trese temelje civilizacije i usmjerava je u novo stoljeće ispunjeno neočekivanim čudesima. Ključ Vernove vizije i dubokih predviđanja bilo je njegovo shvaćanje snage znanosti da revolucionira društvo.

Drugi veliki prorok tehnologije bio je Leonardo da Vinci, slikar, mislilac i vizionar. U kasnom petnaestome stoljeću, on je crtao prekrasne i točne presjeke strojeva koji će jednoga dana ispuniti nebo: skice padobrana, helikoptera, letjelice-zmaja, čak i zrakoplova. Začudo, mnogo njegovih otkrića bilo je sposobno za let (njegovim je letjelicama ipak nedostajao jedan dodatak: motor s barem jednom konjskom snagom, izum koji se neće pojaviti sljedećih 400 godina).

Jednako je čudesno da je Leonardo napravio projekt mehaničkoga kalkulatora koji je bio možda 150 godina ispred svoga vremena. Godine 1967., jedan izgubljeni rukopis ponovno

analiziran iznio je na vidjelo njegovu zamisao kalkulatora s trinaest digitalnih kotačića. Ako netko pomakne polugu, nazubljeni kotač iznutra u nizu obavlja aritmetičke računice. (Stroj je napravljen 1968. i funkcionirao je.) Osim toga, 1950-ih je pronađen rukopis koji je sadržavao skicu ratnika-automata koji je nosio njemačko-talijanski oklop, mogao sjedati, micati ruke i vilicu. Kasnije su ga napravili i on je također funkcionirao.

Kao i Jules Verne, Leonardo je umio predviđati budućnost tako što je drugovao sa šačicom onodobnih vizionara. Bio je član kruga ljudi koji su bili na prvoj fronti inovacija. Osim toga, Leonardo je uvijek eksperimentirao, gradio i crtao modele, ključno obilježje onoga koji želi pretvoriti misao u stvarnost.

Kad se uzmu u obzir ogromna, proročka predviđanja Vernea i Leonarda da Vincija, postavljamo sljedeće pitanje: je li moguće predvidjeti svijet 2100. godine? U duhu Vernea i Leonarda, ova će knjiga izbliza ispitati rad vodećih znanstvenika koji grade prototipove tehnologija koje će promijeniti našu budućnost. Ova knjiga nije znanstvena fantastika, usputni proizvod zanesene mašte scenarista iz Hollywooda, već se temelji na čvrstoj znanosti kojom se znanstvenici bave u najvećim laboratorijima diljem našega planeta.

Prototipovi svih tih tehnologija već postoje. Kao što je jednom rekao William Gibson, autor djela *Neuromancer* koji je skovao riječ *cyberspace*: "Budućnost je već ovdje, samo je neravnomjerno raspodijeljena."

Predviđati svijet 2100. obeshrabrujući je zadatak, s obzirom na to da se nalazimo u razdoblju dubinskih promjena u znanosti čiji se ritam sve više ubrzava. Više je znanstvenih saznanja sakupljeno u nekoliko posljednjih desetljeća negoli u cijeloj ljudskoj povijesti. Do godine 2100. znanstvena će se saznanja udvostručiti u više navrata.

Možda je ipak najbolji način da se pojmi zahtjevnost predviđanja svijeta za stotinu godina ako se prisjetimo svijeta 1900. i ako se sjetimo života kojima su živjeli naši djedovi i bake.

Novinar Mark Sullivan predložio je da zamislimo nekoga kako čita novine 1900. godine:

> "Dana 1. siječnja 1900. godine, Amerikanci nisu mogli pronaći riječ *radio*, jer se on pojavio tek 20 godina kasnije; niti riječ *film*, jer je i to bila riječ rezervirana za budućnost; nije postojao niti *vozač*, jer se automobil tek pojavljivao i bio je nazivan *kočija bez konja*… Nije postojala riječ za *pilota*… Zemljoradnici nisu čuli za *traktor* niti su bankari čuli za Federal Reserve System. Trgovci nisu poznavali načelo lanca trgovina niti samoposlugu; mornari nisu znali za motor na ulje… Na seoskim cestama još su se mogle vidjeti volovske zaprege… Konji i mazge služili su kao tegleća snaga praktički posvuda… Kovač pod razgranatim kestenovim drvetom bio je realnost."

Da bismo razumjeli težinu predviđanja sljedećih stotinu godina, moramo cijeniti težinu na koju su nailazili ljudi 1900. kada su predviđali svijet u 2000. Godine 1893., u sklopu Svjetske kolumbovske izložbe u Chicagu, sedamdeset četiri poznate osobe bile su upitane da predvide kako će izgledati život za stotinu godina. Učestali problem bio je da su sustavno podcjenjivali ritam razvoja znanosti. Primjerice, mnogi su točno predvidjeli da ćemo jednoga dana imati transatlantske trgovačke letjelice, no oni su smatrali da će to biti baloni. Senator John J. Ingalls je rekao: "Građaninu će biti sasvim uobičajeno naručiti balon na upravljanje, kao što danas naručuje čizme ili kočiju." Također su sustavno propuštali da predvide stvaranje automobila. Ministar pošte

i telekomunikacija John Wanamaker tvrdio je da će se pošta SAD-a isporučivati u diližansama i na konjima sljedećih stotinu godina u budućnost.

To podcjenjivanje znanosti proširilo se čak i na ured za patentiranje. Godine 1899., Charles H. Duell, službenik ureda za patentiranje SAD-a, kazao je da je "sve što se može izumiti već izumljeno".

Ponekad stručnjaci za jedno područje podcjenjuju ono što im se događa pred nosom. Godine 1927., Harry M. Warner, jedan od osnivača studija Warner Brothers, izjavio je tijekom razdoblja nijemih filmova: "Tko, dovraga, želi čuti glumce kako govore?"

Thomas Watson, predsjednik IBM-a, izjavio je 1943.: "Mislim da će na tržištu biti mjesta za pet računala."

Podcjenjivanje snage znanstvenoga otkrića proširilo se i na časni *New York Times*. (*Times* je 1903. godine izjavio da su letjelice gubitak vremena, samo tjedan dana prije nego što su braća Wright uspješno poletjeli u svojoj letjelici na Kitty Hawku u Sjevernoj Karolini. Godine 1920. *Times* je kritizirao raketnoga znanstvenika Roberta Goddarda s tvrdnjom da je njegov rad besmislen s obzirom na to da se rakete ne mogu kretati u vakuumu. Četrdeset devet godina kasnije, kada su astronauti *Apolla 11* sletjeli na Mjesec, *Times* je službeno opozvao izjavu: "Sad je bez sumnje ustanovljeno da raketa može funkcionirati u vakuumu. *Times* žali zbog pogrješke."

Lekcija koju možemo izvući jest da je jako opasno kladiti se protiv budućnosti.

Predviđanje je budućnosti, osim u nekoliko iznimnih slučajeva, uvijek podcjenjivalo ritam tehnološkoga razvoja. Povijest pišu optimisti, a ne pesimisti. Kao što je predsjednik Dwight Eisenhower jednom kazao: "Pesimizam nikada nije pobijedio u ratu." Možemo čak vidjeti da su i pisci znanstvene fantastike podcijenili ritam znanstvenih otkrića. Kad gledamo reprize stare serije *Zvjezdane staze* iz šezdesetih godina, uviđamo da je veliki broj tehnologije "dvadeset i trećeg stoljeća" već prisutan. U ono vrijeme televizijska je publika bila iznenađena kad bi vidjela mobilne telefone, prijenosna računala, uređaje koji govore i mašine za pisanje koje pišu prema diktatu. Ipak, sva ta tehnologija već danas postoji. Uskoro ćemo imati inačice univerzalnoga prevoditelja, koji može hitro prevesti s jednoga jezika na drugi dok govorite. Imat ćemo i "trikordere" koji mogu dijagnosticirati bolesti s udaljenosti. (Osim "warp" motora za kretanje i transportera, većina je tehnologije dvadeset i trećega stoljeća već ovdje.)

Kad se uzmu u obzir te jasne pogrješke ljudi pri predviđanju budućnosti, moramo biti posebno oprezni kako bismo pružili čvrstu znanstvenu podlogu našim predviđanjima.

RAZUMJETI ZAKONE PRIRODE

Danas više ne živimo u tamnom razdoblju znanosti, kad su munje i kuga bili smatrani djelima bogova. Imamo prednost koju Verne i Leonardo da Vinci nisu imali: čvrsto razumijevanje zakona prirode.

Predviđanja će uvijek imati mane, no jedini način da ih učinimo vjerodostojnima jest da shvatimo četiri fundamentalne sile u prirodi koje pokreću čitavi svemir. Svaki put kad je jedna od njih bila shvaćena i protumačena, promijenio se smjer ljudske povijesti.

Prva sila koja je bila protumačena bila je sila teže. Isaac Newton pružio nam je teoriju mehanike koja je objasnila kako se predmeti kreću pokrenuti silama, a ne tajanstvenim duhovima i

metafizikom. To je utrlo put industrijskoj revoluciji i uvođenju parne energije, prije svega lokomotive.

Druga sila bila je elektromagnetska sila koja osvjetljuje naše gradove i napaja energijom naše uređaje. Kad su Thomas Eddison, Michael Faraday, James Clerk Maxwell i ostali uspjeli protumačiti električnu energiju i magnetizam, pokrenuta je električna revolucija koja je stvorila nebrojena znanstvena čuda. Vidimo to svaki puta kad nestane električne energije i kad se društvo odjednom vrati stotinu godina unatrag u prošlost.

Treća i četvrta sila dvije su nuklearne sile: slaba i jaka sila. Kad je Einstein zapisao $E = mc^2$ i kad je 1930-ih razbijen atom, znanstvenici su prvi put počeli razumijevati sile koje osvjetljuju nebesa. To je otkrilo tajne koje se kriju za zvijezdama. Ne samo da je to oslobodilo čudesnu snagu atomskoga oružja, nego je ispunilo obećanje da će se jednoga dana ta energija moći iskorištavati na Zemlji.

Danas posjedujemo prilično dobro shvaćanje tih četiriju sila. Prva sila, sila teže, danas je opisana Einsteinovom općom teorijom relativnosti. Ostale tri sile opisane su kvantnom teorijom koja nam omogućuje da dekodiramo tajne subatomskoga svijeta.

Kvantna teorija dala nam je tranzistor, laser i digitalnu revoluciju koja je pokretna sila modernoga društva. Znanstvenici su uspjeli poslužiti se kvantnom teorijom da otkriju tajnu molekule DNA. Zasljepljujuća brzina biotehnološke revolucije izravna je posljedica računalne tehnologije, s obzirom na to da je sekvencioniranje molekula DNA obavljeno strojevima, robotima i računalima.

Posljedica je toga da smo mi u stanju predvidjeti smjer kojim će znanost i tehnologija poći u sljedećemu stoljeću. Uvijek će biti potpuno nepredvidljivih, začuđujućih iznenađenja koja nas ostavljaju bez riječi, ali temelji moderne fizike, kemije i biologije solidno su postavljeni i ne očekujemo nikakve značajne revizije toga temeljnoga znanja, barem u doglednoj budućnosti. Iz toga proizlazi da predviđanja u ovoj knjizi nisu proizvodi slobodne spekulacije, nego su razumne procjene kad će tehnologije u razvoju doseći svoju realizaciju.

K tome nadolazi još nekolicina razloga da povjerujemo da možemo vidjeti nacrt svijeta 2100.:

1.
Ova je knjiga utemeljena na razgovorima s više od 300 vrhunskih znanstvenika koji stoje na prvoj fronti otkrića.

2.
Sva znanstvena postignuća spomenuta u ovoj knjizi u skladu su sa znanim zakonima fizike.

3.
Četiri sile i temeljni zakoni prirode vrlo su dobro proučeni; ne očekujemo velike promjene u tim zakonima.

4.
Prototipovi sviju tehnologija koje su spomenute u ovoj knjizi već postoje.

5.
Ovu je knjigu napisao “čovjek iznutra” koji je neposredno pratio tehnologije koje su na

samom rubu današnjega istraživanja.

Nebrojenim godinama bili smo pasivni promatrači plesa prirode. Gledali smo u čudu i strahu komete, munje, vulkanske erupcije, kuge i pretpostavljali da je sve to nama nedokučivo. Našim precima prirodne su sile bile vječni misterij kojega se valja bojati i obožavati ga, te su stoga proizveli mitološke bogove da bi objasnili svijet oko njih. Oni su se nadali da će molitvom postići da im ti bogovi budu milostivi i da im ostvare njihove najveće želje.

Danas smo mi postali koreografi plesa prirode i možemo ponekad "prilagoditi" zakone prirode. Do godine 2100. postat ćemo gospodari budućnosti.

2100.: POSTATI BOGOVI IZ MITOLOGIJE

Kad bismo danas mogli nekako posjetiti svoje pretke i pokazati im čudesa moderne znanosti i tehnologije, oni bi nas smatrali čarobnjacima. Magijom znanosti mi bismo im mogli pokazati zrakoplove koji mogu uzletjeti u oblake, rakete koje mogu istraživati mjesec i planete, skenere za magnetsku rezonanciju koji mogu proviriti u živa tijela i mobilne telefone kojima možemo komunicirati s bilo kime na planetu. Kad bismo im pokazali prijenosna računala koja mogu slati pokretne slike i poruke s kontinenta na kontinent, oni bi to smatrali čarobnjaštvom.

To je tek početak. Znanost nije statična. Znanost se širi eksponencijalno svuda oko nas. Ako prebrojite znanstvene članke koji se izdaju svake godine, shvatit ćete da se sam obujam znanosti udvostruči u jednom desetljeću. Inovacije i otkrića mijenjaju ekonomski, politički i sociološki krajolik, odbacujući stara i omiljena vjerovanja i predrasude.

Sada se usudite zamisliti svijet godine 2100.

Do 2100. godine, naša će sudbina biti da postanemo poput bogova koje smo nekoć štovali i kojih smo se bojali. Naša oruđe neće ipak biti čarobni štapići i napitci, nego računalna znanost, nanotehnologija, umjetna inteligencija, biotehnologija i, najviše od svega, kvantna teorija koja je temelj svih navedenih tehnologija.

Do 2100. godine, poput mitoloških bogova, moći ćemo rukovati predmetima koristeći snagu svojega uma. Računala će u tišini čitati naše misli i ispunjavati naše želje. Moći ćemo pomicati predmete samim mislima, telekinetičkom moći koja je bila rezervirana samo za bogove. Snagom biotehnologije proizvest ćemo savršena tijela i produžit ćemo svoj životni vijek. Bit ćemo također u stanju proizvesti životne oblike koji nikada nisu postojali. Pomoću nanotehnologije, moći ćemo uzeti neki predmet i pretvoriti ga u nešto drugo, stvoriti nešto iz naočigled ničega. Nećemo se voziti plamtećim kolima, nego sofisticiranim prijevoznim sredstvima koja će uzlijetati sama od sebe gotovo bez uporabe goriva i bez muke lebdjeti u zraku. Svojim ćemo motorima moći crpsti neiscrpnu energiju zvijezda. Stajat ćemo na pragu da pošaljemo zvjezdani brod istražiti obližnje zvijezde.

Premda se ovakva bogovima nalična moć čini nezamislivo napredna, začetci svih tih tehnologija razvijaju se i sad dok mi pričamo. Moderna znanost će nam to omogućiti, a ne bajanje i čarolije.

Ja sam kvantni fizičar. Svakodnevno se hvatam u koštac s jednadžbama koje upravljaju subatomskim česticama od kojih je sačinjen naš svemir. Svijet u kojemu ja živim svemir je sastavljen od 11-dimenzionalnog hiperprostora, crnih rupa i prijelaza u multiverzum. Jednadžbe kvantne teorije kojima se tumače eksplozije zvijezda i veliki prasak mogu se koristiti da odgonetnu nacrt naše budućnosti.

Kamo vodi sav taj tehnološki napredak? Gdje je krajnja destinacija na tom dugom putovanju u znanost i tehnologiju?

Kulminacija svih tih znanstvenih potresa stvaranje je planetarne civilizacije koju fizičari zovu civilizacija *Tip I*. Taj prijelaz bit će vjerojatno najveći prijelaz u povijesti civilizacije te će značiti potpuno novi početak. Naslovnice koje zauzimaju glavna mjesta u vijestima diljem svijeta označuju, tako reći, porođajne bolove te planetarne civilizacije. Trgovina, razmjena, kultura, jezici, zabava, slobodne aktivnosti, čak i rat, sve je to revolucionirano pojavom planetarne civilizacije. Izračunavajući energetski trošak cijele planete možemo procijeniti da ćemo doseći status *Tip I* kroz stotinu godina. Ako ne podlegnemo silama kaosa i ludila, prijelaz prema planetarnoj civilizaciji je neizbježan, krajnji proizvod neizmjerne, neumitne sile povijesti i tehnologije izvan ičije kontrole.

ZAŠTO SE PREDVIĐANJA PONEKADA NE OBISTINE

Nekolicina je predviđanja o informacijskom dobu bila posve netočna. Na primjer, mnogi su futurolozi predvidjeli "ured bez papira", to jest da će računalo učiniti papir nepotrebnim. Dogodilo se upravo suprotno. Pogled u bilo koji ured pokazuje da količina papira nikad nije bila veća.

Neki su predvidjeli "grad bez građana". Futurolozi su predvidjeli da će telekonferencije preko interneta učiniti nepotrebnima osobne poslovne sastanke, stoga neće biti potrebe za transportom. U stvari, gradovi bi se u velikoj mjeri ispraznili i postali gradovi duhova, s obzirom na to da bi ljudi radili kod kuće, a ne u svojim uredima.

Pojavili bi se i "cyber-turisti", zalijepljeni za kauče, koji bi provodili dane izležavajući se i gledajući krajolike preko interneta. Vidjeli bismo i "cyber-kupce" koji bi hodanje zamijenili potezima miša. Trgovački centri doživjeli bi bankrot. "Cyber-studenti" pohađali bi sva svoja predavanja preko interneta, dok bi potajno igrali video igre i pili pivo. Sveučilišta bi se zatvorila zbog manjka interesa.

Pogledajte sudbinu "telefona sa slikom". Tijekom Svjetskoga sajma 1964., AT & T je potrošio oko 100 milijuna dolara na usavršavanje televizijskoga ekrana koji se spaja na telefonski sustav da bismo mogli vidjeti osobu s kojom govorimo i obrnuto. Zamisao nikada nije ostvarena. AT & T je prodao samo stotinjak primjeraka, a svaki je koštao milijun dolara. Vrlo skup fijasko.

Smatrali su da se bliži kraj tradicionalnim medijima i zabavi. Neki su futurolozi tvrdili da će internet svojom silom progutati kazalište, kina, radio i televiziju, koje ćemo moći naći tek u muzejima.

Dogodilo se upravo suprotno. Gužve u prometu gore su nego ikada – stalno obilježje gradskoga života. Ljudi masovno hrle na strana odredišta, a time je turizam jedna od najbrže rastućih industrija na planetu. Kupci preplavljuju trgovine usprkos ekonomskoj krizi. Umjesto da umnožavaju broj predavanja preko interneta, sveučilišta bilježe rekordne brojeve upisanih studenata. Iako je sve više ljudi koji se odlučuju za rad kod kuće ili za telekonferenciju sa

suradnicima, ipak se gradovi nisu uopće ispraznili. Dapače, oblikovali su se megalopolisi s tendencijom širenja. Danas je lako obavljati video razgovore preko interneta, ali većina ljudi odbija da budu snimljeni i preferiraju susrete licem u lice. Internet je u potpunosti promijenio izgled medija, ali medijski divovi još uvijek razmišljaju kako da zarade poslujući preko interneta. Nema govora, doduše, o gašenju televizije, radija i kazališta. Svjetla Broadwaya sjaje kao i uvijek.

NAČELO ŠPILJSKOGA ČOVJEKA

Zašto se ova predviđanja nisu obistinila? Pretpostavljam da su ljudi odbili te inovacije zbog onoga što nazivam načelom špiljskoga čovjeka. Genetski i fosilni dokazi pokazuju da se moderni čovjek, koji je izgledao poput nas, razvio u Africi prije više od sto tisuća godina, ali nemamo dokaza da su se otad naši mozgovi i osobnosti iole promijenili. Ako biste usporedili nekoga iz toga vremena, on bi bio anatomski identičan nama. Ako biste ga oprali i obrijali, odjenuli u odijelo i stavili na Wall Street, bio bi fizički neraspoznatljiv od ostalih ljudi. Naše se želje, snovi, osobnosti i želje nisu mnogo promijenile u sto tisuća godina. Vjerojatno još uvijek mislimo kao naši daleki preci.

Ono što želim kazati jest da, kad god se sukobe moderna tehnologija i želje naših primitivnih predaka, primitivne želje svaki puta pobijede. To je načelo špiljskoga čovjeka. Špiljski je čovjek uvijek tražio "dokaz ubijenoga". Nikad nije bilo dovoljno hvaliti se velikim plijenom koji je pobjegao. Imati životinju u rukama uvijek je značilo više, nego imati priču o onoj koja je pobjegla. Isto tako želimo materijalnu kopiju kad god radimo s dokumentima. Instinktivno ne vjerujemo elektronima koji plutaju u ekranu računala, stoga ispisujemo pisačem svoje e-mailove i izvješća, čak i kada to nije potrebno. Zato ured bez papira nikada i nije zaživio.

Naši su preci također voljeli susret licem u lice. To je omogućilo da se povežemo jedni s drugima i da pročitamo skrivene emocije drugih. Zbog toga grad bez ljudi nikada nije zaživio. Primjerice, vlasnik želi pažljivo procijeniti svoje zaposlenike. Teško je to učiniti preko interneta, ali licem u lice vlasnik može čitati govor tijela i uhvatiti vrijedne nesvjesne informacije koje dajemo. Gledanjem ljudi izbliza osjećamo da nas nešto povezuje i možemo čitati njihov suptilni govor tijela kako bismo saznali kakve im misli prolaze glavom. Naši su majmunoliki preci koristili govor tijela kao jedini način za izricanje misli i emocija, mnogo tisuća godina prije nego što su razvili govor.

Zbog toga cyber-turizam nikada nije zaživio. Jedno je vidjeti sliku mauzoleja Taj Mahal, a nešto sasvim drugo moći se hvaliti da ste ga vidjeli uživo. Slično tome, slušanje CD-a omiljenoga glazbenika ne pruža isti osjećaj kao kad odjednom vidite istoga glazbenika uživo na njegovu koncertu uz svjetlosne efekte i buku. To znači da, premda možemo skinuti s interneta realistične slike svoje omiljene drame ili omiljene poznate osobe, to ne zamjenjuje gledanje drame ili omiljenoga glumca uživo. Obožavatelji prelaze velike udaljenosti da dobiju potpisane fotografije i ulaznice za koncerte svojih najdražih zvijezda, iako mogu skinuti slike s interneta besplatno.

To objašnjava zašto internet nije izbrisao televiziju i radio s lica zemlje. Kad su se pojavili kino i radio, ljudi su oplakivali smrt kazališta. Kad se pojavila televizija, ljudi su predviđali nestanak radija i kina. Danas živimo u mješavini u kojoj se nalaze sva tri medija. Lekcija koju možemo naučiti jest da nikada novi medij ne uništava prijašnji, nego da koegzistira s njime. Ta mješavina i njihov odnos neprestano se mijenjaju. Tko god bi uspio točno predvidjeti omjer tih medija u budućnosti, može postati jako bogat.

Razlog tome je da su naši preci uvijek htjeli vidjeti svojim očima, a ne oslanjati se na reklakazala. Ključno za naš opstanak bilo je oslanjati se na stvarne fizičke dokaze, a ne na glasine. Čak

i za stotinu godina od današnjega dana, mi ćemo i dalje ići u kazalište i loviti poznate osobe – staro naslijeđe naše daleke prošlosti.

K tome nadolazi i da smo potekli od predatora koji su lovili. Stoga volimo gledati druge i satima sjediti ispred televizije, beskrajno gledajući zafrkancije naše braće ljudi, ali smo odmah nervozni ako osjetimo da nas drugi gledaju. Znanstvenici su izračunali da postanemo nervozni ako nas nepoznata osoba promatra oko četiri sekunde. Nakon deset sekundi postajemo čak uzrujani i neprijateljski raspoloženi prema osobi koja gleda. To je razlog zašto je prvi telefon sa snimkom neslavno propao. Također, tko se želi počešljati prije negoli ode na internet? (Danas, nakon nekoliko desetljeća polaganog i bolnog napretka, video konferencije postaju uobičajene.)

Danas je moguće pohađati predavanja preko interneta. Sveučilišta ipak vrve studentima. Osobni susret s profesorima, koji pružaju pažnju i odgovaraju na osobna pitanja, i dalje ostaje poželjniji način nastave od online predavanja. Sveučilišna diploma ima veću vrijednost nego bilo koji online tečaj pri traženju posla.

Postoji neprestano natjecanje između visoke tehnologije i visoke taktilnosti, to jest, sjedenje ispred televizije nasuprot pružanja ruke i dodirivanja stvari oko nas. U tome natjecanju mi ćemo htjeti oboje. Zbog toga još uvijek imamo kazalište, rock koncerte, papir i turizam u doba cyber-prostora i virtualne stvarnosti. Ali ako nam ponude besplatnu sliku najdraže poznate osobe ili ulaznice za njezin koncert, uzet ćemo ulaznice bez razmišljanja.

To je dakle načelo špiljskoga čovjeka: najdraže nam je imati oboje, ali kad možemo birati izabrat ćemo visoku taktilnost, kao naši špiljski preci.

Postoji i jedna druga posljedica toga načela. Kad su znanstvenici kreirali internet u šezdesetima, svi su vjerovali da će on postati stjecište obrazovanja, znanosti i napretka. Umjesto toga, mnogi su bili zaprepašteni da je danas degenerirao u otvoreni i pristupačni Divlji zapad. To se zapravo trebalo i očekivati. Posljedica načela špiljskoga čovjeka jest da jednostavno zamislimo naše društvene odnose prije 100 000 godina i pomnožimo s milijun, ako želimo predvidjeti društvene odnose ljudi u budućnosti. Ona znači da će najveća važnost uvijek biti stavljena na glasine, društvene mreže i zabavu. Glasine su bile od temeljne važnosti u plemenu kako bi se brzo proširila informacija, osobito o vođama i uzorima. Oni koji nisu bili unutar kruga često nisu preživjeli da prenesu svoje gene. Danas možemo vidjeti kako se to odigrava na kioscima i malim trgovinama kojima su zidovi obloženi časopisima punima glasinama o poznatim osobama i u samom nastanku "celebrity" kulture. Jedina je razlika da je danas opseg tih plemenskih glasina nebrojeno puta umnožen djelovanjem masovnih medija i može obići zemaljsku kuglu u djeliću sekunde.

Naglo gomilanje internetskih stranica za društvene mreže, koje je učinilo mnoge mladolike poduzetnike milijarderima gotovo preko noći, iznenadilo je mnoge analitičare, ali i to je primjer našega načela. U povijesti naše evolucije, oni koji su održavali velike društvene mreže mogli su u njima pronaći sredstva, savjete i pomoć ključne za preživljavanje.

Zabava će nastaviti svoj eksplozivni rast. Nekada to ne volimo priznati, no dominantni dio naše kulture je utemeljen na zabavi. Nakon lova, naši su se preci opuštali i zabavljali. To nije bilo važno samo zbog povezivanja, nego i zbog postizanja svoga položaja unutar plemena. Nije nimalo slučajno da su ples i pjevanje, temeljni dijelovi zabave, u životinjskome carstvu ključni za pokazivanje vlastite sposobnosti suprotnome spolu. Kad muške ptice pjevaju predivne složene melodije ili obavljaju neobične rituale za parenje, čine to da bi pokazale suprotnome spolu da su zdrave, tjelesno sposobne, da nemaju parazite i da su njihovi geni dovoljno vrijedni da budu

preneseni na potomke. Stvaranje umjetnosti nije bilo samo radi ugode, nego je imalo i važnu ulogu u evoluciji našega mozga koji simbolički obrađuje većinu informacija.

Ako genetski ne promijenimo temelje svoje osobnosti, možemo očekivati da će se snaga zabave, novinskih glasina i društvenih mreža u budućnosti povećavati, a ne smanjivati.

ZNANOST KAO MAČ

Jednom sam pogledao film koji je zauvijek promijenio moj stav prema budućnosti. Zvao se *Zabranjeni planet*, a bio je snimljen prema Shakespeareovoj *Oluji*. U filmu su astronauti susreli staru civilizaciju koja je na svome vrhuncu bila milijune godina ispred nas. Postigli su posljednji cilj svoje tehnologije: beskrajnu snagu bez instrumentalnosti, to jest, moć da učine bilo što snagom svoga uma. Njihove su misli tekle u kolosalnim termonuklearnim postrojenjima, zakopanima duboko ispod njihova planeta koje su pretvarale svaku njihovu želju u stvarnost. Drugim riječima, imali su moć bogova.

Mi ćemo imati sličnu moć, ali nećemo morati čekati milijunima godina. Čekat ćemo jedno stoljeće, a zametke te budućnosti možemo vidjeti u današnjoj tehnologiji. U filmu je, međutim, postajala moralna pouka, jer je božanska sila skršila tu civilizaciju.

Naravno da je znanost mač s dvije oštrice. Rješava i stvara mnoge probleme, ali uvijek na višoj razini. Postoje dvije međusobno suprotstavljene tendencije u današnjem svijetu: jedna želi stvoriti planetarnu civilizaciju koja je tolerantna, znanstvena i uspješna, ali druga slavi anarhiju i neznanje koja može potrgati tkivo našega društva. Još uvijek posjedujemo iste fundamentalističke, sektaške, iracionalne strasti svojih predaka, ali razlika je da danas imamo nuklearno, kemijsko i biološko oružje.

U budućnosti ćemo od običnih promatrača plesa prirode postati koreografi prirode, vladari prirode i na kraju očuvatelji prirode. Nadajmo se da ćemo moći rukovati mačem znanosti s mudrošću i trezvenošću, kroteći barbarstvo svoje povijesti.

Krenimo sad na hipotetsko putovanje putovima sljedećih stotinu godina znanstvenih inovacija i otkrića, koje su mi ispričali znanstvenici koji omogućavaju da se ona dogode. Bit će to divlja vožnja kroz brzi razvoj u računalima, telekomunikacijama, biotehnologiji, umjetnoj inteligenciji i nanotehnologiji. One će bez sumnje promijeniti ništa manje nego budućnost civilizacije.

1. BUDUĆNOST RAČUNALA

Um nadvisuje materiju

Svatko smatra granice svoga nazora granicama svijeta.

— ARTHUR SCHOPENHAUER

Nijedan pesimist nikada nije otkrio tajne zvijezda ili otplovio u neotkrivenu zemlju ili otvorio novo nebo ljudskome duhu.

— HELEN KELLER

Živo se sjećam sjedenja u uredu Marka Weisera u Silicijskoj dolini, prije gotovo dvadeset godina, dok mi je objašnjavao svoju viziju budućnosti. Gestikulirajući rukama uzbuđeno mi je opisao novu revoluciju koja će se dogoditi i koja će promijeniti svijet. Weiser je bio dio računalne elite koja je radila u Xerox PARC-u (Istraživački centar Palo Alto, koji je prvi napravio osobno računalo, laserski pisač, arhitekturu nalik Windowsima s grafičkim korisničkim sučeljem), ali bio je i nonkonformist i ikonoklast koji je rušio uobičajenu mudrost te je bio i član divljega rock banda.

U ono su doba (čini se da je prošao čitav život u međuvremenu) osobna računala bila svježa novost te su polako ulazila u ljudske živote, dok su ljudi pomalo počeli prihvaćati zamisao da kupe pozamašna uredska računala s ciljem da rade analize u proračunskim tablicama i pomalo koriste obradu riječi. Internet je još uvijek bio osamljeno područje za znanstvenika poput mene, u kojemu sam izbacivao jednadžbe svojim prijateljima znanstvenicima na tajanstvenom jeziku. Uzburkale su se rasprave o tome hoće li ta kutija koja sjedi na vašem stolu dehumanizirati civilizaciju svojim hladnim i nemilosrdnim pogledom. Čak je i politički analitičar William F. Buckley morao braniti računalnu obradu riječi od intelektualaca koji su se digli protiv nje i odbili ikada koristi računalo nazvavši ga sredstvom za tupoglave.

U tom je razdoblju osporavanja Weiser skovao izraz “sveprisutno računarstvo”. Gledajući mnogo dalje od osobnoga računala, predvidio je da će čipovi postati toliko jeftini i mnogobrojni da će ih biti posvuda u okolišu – u našoj odjeći, u našem namještaju, na zidovima, čak i u našim tijelima. I svi bi bili spojeni na internet, dijelili podatke, olakšavali nam život nadgledajući sve naše želje. Gdje god bismo se okrenuli, čipovi bi nam potiho ispunjavali naše želje. Okoliš bi oživio.

Za svoje je vrijeme Weiserov san bio bizaran, čak groteskan. Većina je osobnih računala još uvijek bila vrlo skupa i bez pristupa internetu. Zamisao da će milijarde sitnih čipova jednog dana biti jeftine poput vode iz slavine bila je smatrana ludošću.

Pitao sam ga tada zašto je tako siguran da će se dogoditi ta revolucija. Mirno je odgovorio da snaga računala raste eksponencijalno bez ikakvih granica na vidiku. Izračunaj sam, dodao je. Bilo je samo pitanje vremena. (Nažalost, Weiser nije doživio svoju revoluciju, umro je od raka 1999. godine.)

Pokretačka je snaga u pozadini Weiserova sna nešto što se naziva Mooreovim zakonom, dominacija koja je pokretala računalnu industriju više od pedeset godina određujući istodobno ritam moderne civilizacije. Mooreov zakon jednostavno tvrdi da se snaga računala udvostručuje svakih 18 mjeseci. To je 1965. prvi put izjavio Gordon Moore, jedan od osnivača tvrtke Intel, a taj je jednostavan zakon unaprijedio svjetsku ekonomiju, stvorio neopisivo novo bogatstvo i nepovratno promijenio naš način života. Ako bismo iscrtali padajuću cijenu računalnih čipova i razvoj njihove brzine, snage obrade podataka i memorije, dobili bismo zapanjujuće ravnu liniju u zadnjih pedeset godina. (To je ocrtano na logaritamskoj krivulji. Ako produljimo krivulju uključujući tehnologiju elektronske cijevi i mehaničke kalkulatore, krivulja se može produžiti za stotinu godina u prošlost.)

Često je teško pojmiti eksponencijalni rast, jer naši umovi razmišljaju linearno. To je toliko postupno da ponekad ne možemo osjetiti promjenu. Ipak, oko nas se kroz nekoliko desetljeća sve može promijeniti.

Prema Mooreovom zakonu svakoga Božića vaše su računalne igrice gotovo dvostruko snažnije (po broju tranzistora) nego prošlogodišnje. Nadalje, kako vrijeme prolazi, taj progresivni rast postaje monumentalan. Primjerice, kad poštom dobijete rođendansku čestitku, ona često ima čip koji vam pjeva "Sretan rođendan". Začudo, taj čip ima više računalne snage nego što su je imale Savezničke snage 1945. godine. Hitler, Churchill ili Roosevelt vjerojatno bi bili spremni ubiti da ga se dokopaju. Ali što mi radimo s njim? Poslije rođendana bacamo čestitku i čip u smeće. Danas vaš mobilni uređaj ima više računalne snage nego što je cijela NASA imala 1969., kad je poslala dvojicu astronauta na Mjesec. Video igre koje troše ogromne količine računalne snage simulirajući trodimenzionalne situacije koriste više računalne snage negoli računalne centrale iz prošloga desetljeća. Današnji Sony Playstation košta 300 dolara i ima snagu vojnoga super-računala iz 1997. koje je vrijedilo milijune dolara.

Možemo vidjeti razliku između linearnoga i eksponencijalnoga rasta računalne snage kad promotrimo kako su ljudi gledali na budućnost računala 1949., kad je Popular Mechanics predvidio da će računala rasti linearno u budućnosti i da će vjerojatno udvostručiti ili utrostručiti snagu. Pisalo je: "Budući da je računalo poput ENIAC-a danas opremljeno s 18 000 elektronskih cijevi i teži 30 tona, računala budućnosti vjerojatno će imati samo 1000 elektronskih cijevi i težiti samo tonu i pol."

(Majka priroda uvažava snagu eksponencijalnoga razvoja. Jedan virus može preoteti jednu ljudsku stanicu i prisiliti je da proizvede nekoliko stotina zaraženih kopija sebe. Rastući s faktorom 100 u svakoj generaciji jedan virus može proizvesti 10 milijardi virusa u tijeku 5 generacija. Nije stoga niti čudo da jedan virus može zaraziti ljudsko tijelo koje ima milijarde zdravih stanica i da se možete prehladiti u roku tjedan dana.)

Nije samo narastao zbroj računalne snage, nego je iz temelja promijenjen način na koji se ta snaga doprema, s ogromnim utjecajima na ekonomiju. Možemo promatrati taj napredak kroz

nekoliko desetljeća:

- **1950-e.** Računala s elektronskim cijevima bila su divovske naprave koje su ispunjavale čitave prostorije stvarajući džunglu od žica, elektromagnetskih zavojnica i čelika. Samo je vojska bila dovoljno bogata da financira te čudovišne naprave.

- **1960-e.** Tranzistori su zamijenili računala na elektronske cijevi i računalne centrale su postupno počele ulaziti na tržište.

- **1970-e.** Integrirane elektronske ploče koje su sadržavale stotine tranzistora omogućile su stvaranje mini-računala koje je bilo veličine uredskoga stola.

- **1980-e.** Čipovi koji sadrže desetke milijuna tranzistora omogućili su računala koja stanu u aktovku.

- **1990-e.** Internet je povezao stotine milijuna računala u jedinstvenu globalnu računalnu mrežu.

- **2000-e.** Sveprisutno računarstvo je oslobodilo čipove od računala tako da su čipovi raspoređeni u okolišu.

Stara paradigma (jedan čip unutar uredskoga računala ili prijenosnika) zamijenjena je novom paradigmom (tisuće čipova raspoređenih unutar svih predmeta, poput namještaja, kućanskih uređaja, slika, zidova, automobila i odjeće komuniciraju među sobom i povezani su na internet).

Kad se čipovi umetnu u neki kućanski uređaj, on se čudesno mijenja. Kad su čipovi bili umetnuti u pisaće mašine, one su postale uređaji za obradu riječi. Kad su bili umetnuti u telefone, dobili smo mobitele. Kad su bili umetnuti u kamere, dobili smo digitalne kamere. Fliperi su postali video igre. Fonografi su postali iPod. Zrakoplovi su postali smrtonosni bespilotni lovci. Svaki put je cjelokupna industrija unaprijeđena i preporođena. Doskora će sve oko nas postati inteligentno. Čipovi će postati jeftiniji od plastičnih vrećica i zamijeniti bar kod. Tvrtke čiji proizvodi nisu inteligentni mogle bi ispasti iz tržišne utakmice.

Još ćemo uvijek biti okruženi računalnim ekranima, ali će biti nalik tapetama, okvirima slika ili obiteljskim fotografijama. Zamislite sve slike i fotografije koje krase naše domove; a sad zamislite da su oživjele, da se kreću i da su spojene na internet. Kad budemo šetali izvan kuće, vidjet ćemo pokretne slike, jer će koštati kao i one statične.

Sudbina će računala – kao i drugih masovnih tehnologija,poput električne energije, papira i tekuće vode – postati nevidljiva, to jest, nestat će u strukturi naših života, bit će posvuda i nigdje, potiho će i neosjetno izvršavati naše želje.

Danas, kad uđemo u neku prostoriju, automatski tražimo prekidač za paljenje svjetla, jer pretpostavljamo da su zidovi elektrificirani. U budućnosti ćemo prvo tražiti priključak na internet kada uđemo u tu istu prostoriju, jer ćemo pretpostavljati da se radi o inteligentnoj prostoriji. Kao

što je romanopisac Max Frisch jednom kazao: “Tehnologija je spretnost da se svijet tako uredi da ga ne trebamo iskusiti.”

Mooreov zakon nam omogućuje predvidjeti razvoj računala u bliskoj budućnosti. U sljedećem desetljeću čipovi će biti povezani sa superosjetljivim senzorima tako da će biti u stanju ustanoviti bolesti, nesreće i hitne slučajeve te nas obavijestiti prije negoli izmaknu kontroli. Moći će u nekoj mjeri prepoznavati ljudski glas i lice te komunicirati na formalnom jeziku. Moći ćemo stvoriti virtualne svjetove o kojima danas samo možemo sanjati. Do 2020. cijena jednoga čipa past će na vrijednost jednoga penija, a toliko košta papir za recikliranje. Posvuda u okolišu nalazit će se čipovi koji će potiho izvršavati naše naredbe.

Na kraju će i sama riječ computer nestati iz engleskoga jezika.

Da bismo mogli raspravljati o budućem napretku znanosti i tehnologije, podijelio sam svako poglavlje na tri razdoblja: bliska budućnost (danas do 2030.), sredina stoljeća (od 2030. do 2070.) i na kraju daleka budućnost (od 2070. do 2100.). Ova su razdoblja uzeta kao grube procjene, ali daju vremenski okvir za različite tendencije koje se izlažu u ovoj knjizi.

Brzi će nam razvoj računalne snage do 2100. godine pružiti moć kakvu smo nekoć povezivali s bogovima iz mitologije. Bit ćemo u stanju kontrolirati naš okoliš pomoću svojih misli. Poput njih, moći ćemo pomicati predmete i mijenjati oblik stvarima jednostavnim pokretom ruke ili klimanjem glavom. Neprestano ćemo biti u mentalnom kontaktu s čipovima oko nas koji će potiho izvršavati naše želje.

Sjećam se da sam gledao jednu epizodu Zvjezdanih staza u kojoj je posada svemirskoga broda Enterprise naišla na planet nastanjen grčkim bogovima. Pred njima se ukazao stasiti bog Apolon, divovskoga stasa, sposoban zapanjiti i oduzeti dah posadi čineći bogolika djela. Znanost 23. stoljeća bila je nemoćna u borbi s bogom koji je vladao nebesima tisućljećima ranije, u doba antičke Grčke. Kad su se oporavili od početnoga šoka od susreta s grčkim božanstvom, uskoro su shvatili da mora biti priključen na neki izvor snage, da je Apolon jednostavno spojen na središnje računalo i elektranu, koja je izvršavala njegove zamisli. Kad je posada locirala i uništila izvor napajanja energijom, Apolon je bio sveden na običnoga smrtnika.

To je samo hollywoodska priča. Ipak, ako povučemo zaključke iz radikalnih otkrića koja se odvijaju u laboratorijima, znanstvenici mogu zamisliti dan kad ćemo i mi imati telepatsku kontrolu nad računalima koja će nam dati moć ovog Apolona.

BLISKA BUDUĆNOST (DANAS DO 2030.)

INTERNETSKE NAOČALE I KONTAKTNE LEĆE

Danas se možemo spojiti na internet preko računala i mobilnih uređaja. U budućnosti će internet biti posvuda – u zidnim ekranima, namještaju, na oglasnim pločama, čak i u našim naočalama i kontaktnim lećama. Dok trepnemo, spojit ćemo se na internet.

Nekoliko je načina da spojimo internet na očnu leću. Slika se može prenijeti izravno s naočala na očnu leću i u našu mrežnicu. Slika bi mogla biti projicirana na kontaktnu leću koja bi funkcionirala kao zaslon. Moglo bi ju se spojiti na okvir naočala u obliku malenoga dragulja-leće. Dok budemo gledali u naočale, vidjet ćemo internet kao da gledamo filmsko platno. Njime ćemo rukovati pomoću ručnog uređaja koji upravlja računalom pomoću bežične veze. Mogli bismo

jednostavno micati ruke u zraku kako bismo pomicali slike, s obzirom na to da računalo prepoznaje položaj naših prstiju dok ih pomičemo.

Primjerice, od 1991. godine, znanstvenici sa Sveučilišta u Washingtonu razrađivali su virtualni mrežnički prikaz (VRD – Virtual Retinal Display) u kojemu je crveno, zeleno i plavo lasersko svjetlo projicirano izravno na mrežnicu. S poljem pogleda od 120 stupnjeva i razlučivost prikaza od 1600 x 1200 točaka, VRD prikaz može pružiti izvrsnu sliku usporedivu s onom koju možemo vidjeti u kinima. Slika se može vidjeti koristeći kacigu, zaštitne ili obične naočale.

Devedesetih sam godina imao prigodu isprobati te internetske naočale. To je bila rana inačica razvijena u laboratoriju Media Lab na MIT-ju. Izgledale su kao običan par naočala osim što su imale valjkastu leću, dugu 1,25 cm, spojenu na desni ugao stakla. Gledao sam kroz naočale bez ikakvih problema. Ali, ako bih kucnuo po naočalama, malena bi mi se leća pojavila ispred oka. Gledajući u leću jasno sam vidio potpuni računalni zaslon, naoko jedva malo manji od standardnoga PC-ja. Bio sam iznenađen koliko je jasna slika, gotovo kao da mi je zaslon buljio u lice. Tad sam držao u ruci uređaj s tipkama, veličine mobilnoga telefona. Pritišćući tipke kontrolirao sam strjelicu na zaslonu i upisivao smjernice.

Godine 2010. vodio sam posebnu emisiju programa Science Channela. Otišli smo do Fort Benninga u Georgiji da provjerimo najnoviji "vojni internet" koji razvija američka vojska, a koji se naziva Land Warrior. Stavio sam posebnu kacigu s malenim zaslonom koji se nalazi sa strane. Kad sam stavio zaslon pred oči, vidio sam odjednom zadivljujući prikaz: cjelokupno bojno polje sa slovima koja su označavala prijateljske ili neprijateljske trupe. "Magla rata" je rastjerana, jer su GPS senzori točno pozicionirali sve trupe, tenkove i građevine. Pritiskom tipke prikaz se naglo mijenja i stavlja mi na raspolaganje internet s informacijama o vremenu, rasporedu prijateljskih i neprijateljskih snaga, strategiji i taktici.

Daleko razvijenija inačica imat će internet projiciran izravno kroz kontaktne leće tako što će umetnuti čip i LCD prikaz u plastiku. Babak A. Parviz i njegova skupina na Sveučilištu u Washingtonu u Seattleu postavljaju temelje za internetske kontaktne leće stvarajući prototipove koji će u krajnjem slučaju promijeniti naš pristup internetu.

Predvidjeli su da bi primjena te tehnologije mogla pomoći dijabetičarima da reguliraju razinu glukoze. Leće će projicirati očitavanje uvjeta u njihovim tijelima. Ali to je tek početak. Parviz zamišlja dan kad ćemo moći skinuti bilo koji film, pjesmu, posjetiti internetsku stranicu ili dobiti neku informaciju s interneta izravno u svoje kontaktne leće. Imat ćemo svu kućnu zabavu u našim lećama. Leći ćemo u naslonjač i uživati u dugometražnim filmovima. Moći ćemo se spojiti na uredsko računalo pomoću tih istih leća i rukovati datotekama koje će se pojavljivati pred nama. S plaže ćemo moći napraviti telekonferenciju s uredom jednim treptajem oka.

U te će se internetske naočale umetnuti softver za prepoznavanje obrazaca tako da će biti u stanju prepoznati predmete, pa čak i lica ljudi. Već sad neki programi mogu prepoznati pretprogramirana lica s više od 90 posto točnosti. Ne samo ime, nego i biografija čovjeka s kojim razgovarate pojavit će se pred vama. To će biti kraj sramoćenju kad na sastancima naiđete na nekoga koga poznajete, a čijega se imena više ne sjećate. To će biti korisno i na cocktail zabavama na kojima ima mnogo nepoznatih ljudi među kojima su mnogi vrlo važni, a vi i ne znate o kome se radi. U budućnosti ćemo moći identificirati strance i upoznati njihovu pozadinu u trenutku dok razgovaramo s njima. (To će sve vrlo sličiti svijetu viđenome kroz robotsko oko u Terminatoru.)

Ta bi inovacija mogla izmijeniti obrazovni sustav. U budućnosti će studenti moći na ispitu pretraživati internet pomoću kontaktnih leća u potrazi za odgovorima na pitanja, što bi postavilo

problem profesorima koji se oslanjaju na potrebu pamćenja. Učitelji će morati staviti naglasak na sposobnost razmišljanja i zaključivanja.

Vaše će naočale imati ugrađenu i sićušnu kameru, tako da ćemo moći izravno snimati svoj okoliš i slati snimke na internet. Ljudi diljem svijeta moći će dijeliti svoja iskustva u trenutku dok ih budu doživljavali. Što god ti budeš gledao, moći će vidjeti i tisuće drugih ljudi. Roditelji će znati što im rade djeca. Zaljubljeni će moći dijeliti iskustva kad su razdvojeni. Ljudi na koncertima moći će podijeliti svoje oduševljenje s obožavateljima diljem svijeta. Inspektori će posjećivati daleke tvornice i izravno slati slike svojim nadređenima (Jedan će supružnik ići u kupovinu dok će mu drugi kazivati što da kupi.)

Već je Parviz toliko smanjio računalni čip da se može umetnuti u polimernu traku kontaktnih leća. Uspješno je ugradio LED (svjetleću diodu) u kontaktne leće, a sad radi na mreži ploči od 8 x 8 svjetlećih dioda. Njegovim kontaktnim lećama upravlja se bežično. On tvrdi: "Proizvod će imati ugrađene stotine svjetlećih dioda koje će projicirati slike, slova, karte i fotografije. Mnogo će hardvera biti napola prozirno, tako da će se korisnici moći snalaziti u okolišu bez straha da se sudare ili postanu dezorijentirani." Njegov je krajnji cilj stvoriti kontaktne leće od 3 600 točaka razlučivosti od kojih je svaka tanka 10 mikrometara.

Prednost internetskih kontaktnih leća je u korištenju toliko malo energije, tek nekoliko milijuntih (10-6) dijelova vata (W). Iskoristivost je visoka i baterija će dugo trajati. Druga je prednost da su i oko i vidni živac takoreći izravni produžeci ljudskoga mozga, te time ostvarujemo izravni pristup mozgu bez da ugrađujemo elektrode u njega. Oko i vidni živac prenose informaciju brže nego najbrža internetska veza. Stoga internetska kontaktna leća nudi možda najučinkovitiji i najbrži pristup mozgu.

Projiciranje slike u oko pomoću kontaktne leće malo je složenije negoli pomoću internetskih naočala. Svjetleća dioda može proizvesti točku svjetlosti, ali mora se dodati još jedna mikroleća kako bi ju se usmjerilo izravno na mrežnicu. Krajnji će prikaz izgledati kao da pluta na metar udaljenosti od nas. Parviz je osmislio napredniju inačicu koja bi koristila mikrolasere koji šalju iznimno oštru sliku izravno u mrežnicu. Istom tehnologijom koja se koristi u proizvodnji sićušnih čipova mogu se proizvesti sićušni laseri, najmanji na svijetu. Laseri veličine 100 atoma (65 nanometara) mogli bi se također proizvesti tom tehnologijom. Kao i tranzistore, mogli bismo umetnuti milijune lasera na čip veličine nokta.

AUTOMOBIL BEZ VOZAČA

U budućnosti ćemo moći pretraživati po internetu pomoću kontaktnih leća i istodobno sigurno voziti automobil. Putovati na posao neće biti naporan zadatak zato što će automobili voziti same sebe. Već sada automobili bez vozača korištenjem GPS-a mogu odrediti neki položaj i voziti više stotina kilometara. Pentagonova agencija za napredne istraživačke projekte u obrani (DARPA, engl. Pentagon's Defense Advanced Research Projects Agency) sponzorira natjecanje, DARPA Grand Challenge, u kojemu su laboratoriji pozvani da pošalju modele automobila bez vozača za utrku kroz pustinju Mojave za nagradu od milijun dolara. DARPA nastavlja dugogodišnju tradiciju financiranja riskantnih, ali vizionarskih tehnologija.

(Jedan je od primjera Pentagonovih projekata i internet, koji je izvorno zamišljen da poveže znanstvenike i službenike za vrijeme i poslije nuklearnoga rata. Zatim, GPS sustav, koji je zamišljen da usmjerava interkontinentalne balističke rakete. Naknadno su i internet i GPS skinuti s tajnoga popisa i predani u javnost nakon kraja Hladnoga rata.)

Natjecanje 2004. je imalo neslavan početak, s obzirom na to da nijedno vozilo nije uspjelo prijeći 250 kilometara neravnoga terena i prijeći ciljnu liniju. Robotizirani automobili su se ili oštetili ili izgubili putem. No sljedeće je godine, ipak, pet automobila završilo čak i zahtjevniju utrku. Morali su voziti na stazama koje su imale stotinu oštrih zavoja, tri uska tunela i putove sa strmim padinama s obje strane.

Neki su kritičari kazali da bi robotizirani automobili mogli putovati pustinjom, ali nikako i središtem grada. Stoga je 2007. DARPA financirala još ambiciozniji projekt, Urban Challenge, u kojemu su robotizirani automobili morali doći na cilj naporne 100 kilometarske utrke u umjetnom gradskom naselju za manje od šest sati. Automobili su morali poštivati sve prometne zakone, izbjegavati robotizirane automobile u tijeku utrke i dogovoriti se na križanjima tko ima prednost. Šest je momčadi uspješno završilo natjecanje. Prva je odnijela nagradu od dva milijuna dolara, druga milijun, a treća pola milijuna dolara.

Pentagonov je cilj napraviti od trećine pješačkih snaga SAD-a autonomne jedinice do 2015. godine. To bi mogla biti tehnologija koja će spasiti mnoge živote, s obzirom na to da je većina žrtava u vojsci SAD-a prouzročena nagaznim minama. U budućnosti mnoga vozila vojske SAD-a neće imati vozača. Za civilne kupce takvih vozila to će značiti da će vozač moći raditi, opuštati se, gledati film, diviti se krajoliku ili pretraživati internet za vrijeme vožnje.

Imao sam priliku voziti jedan takav automobil prigodom snimanja specijalne emisije za Discovery Channel. Bio je to rafinirani sportski auto na kojemu su radili inženjeri s Državnog sveučilišta u Sjevernoj Karolini. Njegova računala imaju snagu osam osobnih računala (PC). Bilo mi je teško ući, jer je unutrašnjost bila ispunjena raznim sofisticiranim elektronskim komponentama koje su se nalazile u sjedalima, na upravljačkoj konzoli, posvuda. Kad sam uhvatio upravljač, primijetio sam da ima posebni gumeni kabel spojen s malenim motorom. Računalo je moglo okretati upravljač i kontrolirati motor.

Kad sam okrenuo ključ, stao na papučicu gasa i krenuo na autocestu, pritisnuo sam prekidač koji je omogućio računalu da preuzme kontrolu nad vozilom. Maknuo sam ruke s upravljača i automobil je vozio sam od sebe. Imao sam potpuno povjerenje u vozilo, čije je računalo neprestano radilo sitne prilagodbe pomoću gumenoga kabela na upravljaču. Isprva mi je bilo malo neobično kad sam primijetio da se upravljač i papučica gasa pomiču sami od sebe. Izgledalo mi je kao da je neki duh preuzeo upravljač, ali nakon nekoga vremena sam se navikao. Zapravo sam bio jako sretan da se mogu opustiti i da me vozi samo vozilo, s nadljudskom preciznošću. Mogao sam se opustiti i uživati u vožnji.

Središte automobila bez vozača je GPS sustav koji omogućava računalu da odredi položaj s velikom preciznošću. (Inženjeri su mi rekli da ponekad može odrediti položaju u krugu nekoliko centimetara.) GPS sustav je čudo moderne tehnologije. Svaki od 32 GPS satelita koji kruže zemljom emitira specifični radio val kojega prihvaća GPS uređaj u mome vozilu. Signal svakoga satelita je pomalo iskrivljen, jer kruže u različitim orbitama. To se iskrivljenje naziva Dopplerovim efektom (Radio valovi su stisnuti ako se satelit kreće prema vama. Ako se kreće u suprotnome smjeru, valovi su izduljeni.) Proračunavajući maleno iskrivljenje frekvencija triju ili četiri satelita, računalo može odrediti točan položaj vozila.

Automobil je imao radare u branicima koji su otkrivali prepreke. To će biti ključno u budućnosti jer će svako vozilo automatski poduzimati potrebne mjere čim osjeti moguću opasnost. Danas gotovo 40 000 ljudi pogiba u SAD-u svake godine u prometnim nesrećama. U budućnosti bi izraz prometna nesreća mogao nestati iz svakodnevnog jezika.

Prometne gužve bi također mogle postati dio prošlosti. Središnje će računalo moći pratiti sva kretanja sviju vozila na putu i biti u vezi sa svakim vozilom bez vozača. Tada će biti lako uočiti prometne gužve i čepove na autoputu. U jednom pokusu izvedenom sjeverno od San Diega na saveznoj autocesti broj 15, na cesti su postavljeni čipovi kako bi središnje računalo preuzelo kontrolu nad vozilima na cesti. U slučaju prometne gužve računalo će preuzeti upravljač i omogućiti da promet i dalje nesmetano teče.

Vozilo budućnosti bit će u stanju predosjetiti i druge opasnosti. Tisuće je ljudi izgubilo živote u nesrećama u kojima su vozači zaspali tijekom dugoga noćnog putovanja. Današnja se računala mogu usredotočiti na vaše oči i prepoznati znakove koji ukazuju da postajete pospani. Računalo tad proizvodi zvuk i budi vas. Ako mu ne uspije, samo će računalo preuzeti kontrolu nad vozilom. Računalo može prepoznati i prisutnost prevelike količine alkohola u automobilu, što bi moglo smanjiti na tisuće nesreća povezanih s prekomjernim korištenjem alkohola.

Prijelaz na pametne automobile neće se dogoditi odjednom. Vojska će prvo koristiti ova vozila i u hodu ispraviti sve nedostatke. Tad će se robotizirana vozila pojaviti na tržištu. Upotrebljavat će se na dugim i monotonim međudržavnim autocestama. Zatim će se pojaviti u predgrađima i u velikim gradovima, ali će vozač uvijek imati mogućnost preuzeti upravljač u slučaju opasnosti. I doskora ćemo se čuditi kako smo živjeli bez automatskoga vozača.

EKRANI NA ČETIRI ZIDA

Računala neće samo olakšati napor odlaska na posao i smanjiti broj prometnih nesreća, već će nam omogućiti i da se povežemo s prijateljima i poznanicima. Ranije su neki prigovarali da nas je računalna revolucija dehumanizirala i izolirala. Zapravo, ona nam je pomogla proširiti krug prijatelja i poznanika. Kad ste usamljeni ili trebate društvo, jednostavno ćete zatražiti od računala da vas spoji za partiju bridža s bilo kime u svijetu. Kad vam bude potrebna pomoć za organiziranje putovanja, godišnjeg odmora ili pronalaska osobe za izlazak, napravit ćete to preko zidnoga ekrana.

U budućnosti se ugodno lice može pojaviti na vašemu ekranu (lice koje možete promijeniti da ugodite svome ukusu). Tražit ćete ga da vam isplanira godišnji odmor. Računalo već poznaje vaše sklonosti. Pretražit će internet i pružiti vam listu najboljih opcija po najboljim cijenama.

Obiteljska okupljanja također se mogu odvijati putem zidnoga ekrana. Sva četiri zida vašeg dnevnoga boravka imat će zidne ekrane tako da ćete biti okruženi rodbinom sa svih strana svijeta. U budućnosti će se možda dogoditi da vas neki rođak neće moći posjetiti za neku važnu prigodu. Umjesto toga, obitelj će se okupiti ispred zidnih ekrana kako bi proslavila prigodu napola u realnom, a napola u virtualnom svijetu. Pomoću kontaktnih leća moći ćemo vidjeti slike naših najbližih kao da su pred nama, premda su udaljeni tisućama kilometara. (Neki su komentatori zamijetili da je i internet zamišljen kao "muški" izum koji je služio za dominaciju nad neprijateljem u ratno doba. Internet je međutim postao velikim dijelom "ženskim", jer se sve više radi o ostvarivanju kontakta s drugim osobama.)

Telekonferencije će biti zamijenjene teleprisutnošću – potpuni trodimenzionalni prikaz i zvuk osobe pojavit će se u vašim naočalama ili kontaktnim lećama. Na sastanku će svi sjesti oko stola, a ostale kolege će se pojaviti samo u vašim lećama. Bez leća ćete vidjeti da su neke stolice prazne. S lećama ćete vidjeti sve kolege kako sjede kao da su prisutni za stolom. (Svi će sudionici biti snimljeni posebnom kamerom kako sjede oko sličnoga stola i njihova će slika biti poslana preko interneta.)

Publika je bila zadivljena trodimenzionalnim prikazom ljudi u zraku u filmu Ratovi zvijezda. Uporabom računalne tehnologije moći ćemo vidjeti takve prikaze u našim kontaktnim lećama ili na zidnim ekranima.

Na prvi pogled može izgledati čudno pričati s praznom sobom. Prisjetite se da su neki kritizirali telefon govoreći da će ljudi razgovarati obestjelovljenim glasovima. Jadikovali su kako će postupno zamijeniti osobni kontakt. Kritičari su bili u pravu, mi danas nemamo ništa protiv toga da razgovaramo s obestjelovljenim glasovima zato što se naš krug kontakata iznimno povećao i time se obogatio naš život.

To može promijeniti i vaš ljubavni život. Ako ste usamljeni, vaš će zidni zaslon poznavati vaše prethodne afinitete, fizičke i društvene osobine kod partnera te će moći pretražiti internet u potrazi za odgovarajućim karakteristikama. Budući da ljudi lažu u svojim profilima, kao sigurnosnu mjeru, računalo će pokrenuti pretragu pojedinih životopisa u cilju eliminiranja lažnih podataka.

SAVITLJIVI ELEKTRONSKI PAPIR

Cijena tankoga televizijskoga ekrana, koji je nekoć koštao 10 000 dolara, pala je pedeset posto u samo jednom desetljeću. U sljedećem desetljeću cijena zidnih ekrana isto će tako dramatično pasti. Ti će zidni ekrani biti savitljivi i ekstremno tanki. Koristit će OLED (organske svjetleće diode) tehnologiju. One su nalik običnim svjetlećim diodama, osim što se temelje na organskim sastojcima koji se mogu složiti u polimer što ih čini savitljivima. Svaka točka na savitljivom ekranu povezana je s tranzistorom koji kontrolira boju i intenzitet svjetla.

Znanstvenici iz Centra Flexible Display pri Državnom sveučilištu u Arizoni već rade s Hewlett-Packardom i Vojskom SAD-a na usavršavanju te tehnologije. Snaga tržišta smanjit će joj cijenu i ponuditi je široj javnosti. Cijene će konačno toliko pasti da će doseći cijenu običnih tapeta. Tako u budućnosti nećemo dvojiti hoćemo li zid obložiti tapetom ili zidnim ekranom. Kad budemo željeli promijeniti uzorak, samo ćemo pritisnuti tipku. Preuređivanje će postati krajnje jednostavno.

Tehnologija bi savitljivih ekrana mogla unaprijediti način na koji rukujemo svojim prijenosnim računalima. Nećemo morati nositi teška prijenosna računala s nama. Ono će biti običan komad OLED papira koji ćemo smotati i staviti u novčanik. Mobilni uređaji imat će savitljivi ekran koji će se moći izvući za uporabu. Umjesto da se mučimo tipkajući na malenoj tipkovnici, moći ćemo izvući koliko god želimo fleksibilnoga ekrana i tipkati na njemu.

Ova će tehnologija omogućiti da zasloni osobnih računala postanu sasvim prozirni. U bliskoj budućnosti ćemo gledati kroz prozor, pomaknut ćemo rukom i u trenu će prozor postati zaslon PC-ja ili slika kakvu god poželimo. Moći ćemo gledati kroz prozor prizor udaljen stotinama kilometara.

Danas imamo blokove papira na koje nešto napišemo, pa ih poslije zgužvamo i bacimo. U budućnosti ćemo imati isto takva računala na kojima ćemo nešto napisati, pa ih se otarasiti. Danas uređujemo naš uredski stol i namještaj oko računala koje ima središnje mjesto u uredu. U budućnosti bi uredsko računalo moglo nestati i podaci bi mogli ići zajedno s nama iz prostorije u prostoriju, iz ureda u ured, s posla u kuću. To će nam omogućiti neprestanu informiranost u bilo koje vrijeme i na bilo kojem mjestu. Danas u zračnim lukama viđamo mnogobrojne putnike kako

nose prijenosna računala. Kad stignu u hotel, moraju skinuti s interneta podatke koje će prenijeti na uredsko računalo kad se vrate. U budućnosti nećemo morati nositi računala posvuda jer ćete se posvuda moći spojiti na internet preko namještaja, zidova, slika ili čak ako se nalazite u vlaku ili automobilu. ("Računarstvo u oblaku" ili "Cloud computing", u kojemu vam ne naplaćuju računala nego računalno vrijeme, pristup računalnoj usluzi kao sredstvu koje se mjeri poput vode ili struje, predstavlja rani primjer takvoga pristupa.)

VIRTUALNI SVJETOVI

Cilj je sveobuhvatnog računarstva dovesti računala u naš svijet: postaviti čipove posvuda. Svrha virtualne stvarnosti je upravo suprotna: postaviti nas u svijet računala. Virtualna je stvarnost po prvi put uvedena 1960-ih u okrilju vojske kao način za uvježbavanje pilota i vojnika pomoću simulacija. Piloti su mogli vježbati slijetanje na nosač aviona gledajući u računalni ekran i pomičući igraću palicu. U slučaju nuklearnoga rata, generali i političke vođe tajno su se mogli naći u kibernetskom prostoru.

Budući da računalna snaga raste eksponencijalno, danas možemo živjeti u simuliranom svijetu gdje možemo kontrolirati svoga avatara (animirani lik koji vas predstavlja). Možemo susresti druge avatare, istraživati imaginarne svjetove, zaljubiti se i vjenčati. Možemo kupiti virtualne stvari virtualnim novcem koji može biti pretvoren u pravi novac. Jedna od najpopularnijih internetskih stranica, Second Life, ima registrirano 16 milijuna računa u 2009. godini. Iste je godine nekoliko ljudi zaradilo više od milijun dolara godišnje koristeći Second Life. (Prihod koji ostvarite podliježe poreznoj obavezi, jer ga Vlada SAD-a smatra stvarnim prihodom.)

Virtualna je stvarnost glavno obilježje računalnih igara. U budućnosti ćemo s rastom snage računala moći posjećivati nestvarne svjetove pomoću naočala ili zidnih ekrana. Primjerice, ako kanite ići u kupovinu ili posjetiti neko egzotično mjesto, moći ćete to napraviti prvo preko vašega računala. Na taj način ćete moći hodati po Mjesecu, ići na odmor na Mars, kupovati u dalekim zemljama, posjetiti svaki muzej i onda odlučiti kamo ćete uistinu poći.

Moći ćete, u nekoj mjeri, dodirivati i osjećati predmete u virtualnom svijetu. To se naziva "dodirnom tehnologijom", a omogućava vam da osjetite prisutnost predmeta koji su računalno prikazani. Razvijena je za znanstvenike koji su morali rukovati visoko radioaktivnim materijalima preko daljinskoga upravljača koji je upravljao rukama robota i za vojsku koja je htjela da piloti osjete otpor na igraćoj palici prilikom simulacije leta.

Da bi prenijeli osjećaj dodira, znanstvenici su stvorili uređaj spojen na opruge i zupčanike koji je gurao unazad kad bismo pomaknuli prste naprijed na uređaju stimulirajući osjećaj pritiska. Kad prelazite prstima preko stola, takav uređaj može simulirati osjećaj tvrde drvene površine. Na taj način možete upotpuniti iluziju da se nalazite negdje drugdje osjećajući prisutnost predmeta koje vidite u naočalama za virtualnu stvarnost.

Drugačiji uređaj omogućava vam da osjetite teksturu predmeta kad prijeđete prstima preko malenih igala. Dok prelazite rukom, računalo će kontrolirati visinu svake iglice da se stvori osjećaj tvrde podloge, baršunaste odjeće ili šmirgl papira. U budućnosti ćemo moći dobiti realne osjećaje dodira različitih predmeta i površina.

To će biti ključno pri uvježbavanju kirurga, s obzirom na to da kirurg mora biti u stanju osjetiti otpor dok obavlja osjetljivu operaciju, a pacijent bi mogao biti trodimenzionalna holografska slika. To nas dovodi korak bliže holografskim dvoranama Zvjezdanih staza, gdje

hodate u virtualnom svijetu i dodirujete virtualne predmete. Dok prolazite praznom prostorijom, možete vidjeti čudnovate predmete u svojim naočalama ili kontaktnim lećama. Kad pružite ruku i uhvatite ih, dodirni uređaj se podigne iz tla i simulira predmet koji dodirujete.

Imao sam prigodu iskusiti te tehnologije iz prve ruke kada sam posjetio CAVE (hrv. automatski špiljski virtualni okoliš) na Sveučilištu Rowan u New Jerseyju u sklopu snimanja za Discovery Channel. Ušao sam u praznu prostoriju u kojoj sam bio okružen četirima zidovima, a svaki je zid bio osvijetljen projektorom. Trodimenzionalni prikazi bili su projicirani na zidove te su pružali osjećaj da ste preneseni u neki drugi svijet. U jednoj sam demonstraciji bio okružen divovskim surovim dinosaurima. Pokretom igraće palice mogao sam se provozati na leđima Tyranosaurusa rexa ili čak ući u njegova usta. Zatim sam posjetio Aberdeen Proving Ground u Marylandu gdje je vojska SAD-a razvila najnapredniju inačicu holografske dvorane. Stavili su mi senzore na kacigu i na naprtnjaču tako da je računalo precizno znalo položaj moga tijela. Ušao sam u tzv. Omnidirectional Treadmill, posebnu vrstu kotača za hrčke koji vam omogućava da se krećete u svim smjerovima, a da ostanete na mjestu. Odjednom sam se našao na bojištu i izbjegavao metke iz neprijateljskih snajpera. Mogao sam trčati u svim smjerovima, skrivati se u svim ulicama, trčati punom brzinom svim ulicama, a trodimenzionalni su se prikazi mijenjali preda mnom istovremeno. Mogao sam i leći na leđa, a ekrani bi se prilagodili istovremeno. Mogu zamisliti da ćemo u budućnosti moći iskusiti potpuno uranjanje, primjerice, upustiti se u zračnu bitku s vanzemaljskim svemirskim brodovima, bježati od divljih čudovišta ili uživati na napuštenom otoku, a sve to iz udobnosti svoga dnevnoga boravka.

ZDRAVSTVENA NJEGA U BLISKOJ BUDUĆNOSTI

Odlazak liječniku izgledat će posve drugačije. Za rutinske preglede najvjerojatnije ćemo razgovarati s virtualnim liječnikom koji će se pojaviti na zidnom ekranu i koji će izravno moći dijagnosticirati 95 posto najuobičajenijih oboljenja. Vaš će "liječnik" biti nalik čovjeku, ali zapravo će biti animirani prikaz programiran da vam postavi određena pitanja. Vaš će "liječnik" imati potpuni pregled vaših gena i savjetovati tijek zdravstvenoga tretmana koji će uzeti u obzir sve genetske faktore rizika.

"Liječnik" će vas zamoliti da napravite pretrage kako bi mogao dijagnosticirati problem. U izvornoj inačici serije Zvjezdane staze publika je bila zapanjena napravom zvanom trikorder koja je u trenu postavljala dijagnozu bilo koje bolesti. Nije međutim potrebno čekati 23. stoljeće da vidimo ovu futurističku napravu. Uređaji za magnetsku rezonanciju nekoć su ispunjavali čitave prostorije i težili nekoliko tona, a danas su već smanjeni na nekoliko desetaka centimetara, a doskora će biti veličine mobilnoga telefona. Moći ćete vidjeti organe prelaskom uređaja preko površine svoga tijela. Računalo će obraditi trodimenzionalne prikaze i na temelju njih dati vam dijagnozu. Ista će pretraga u nekoliko trenutaka moći odrediti cijeli niz oboljenja, uključujući rak, godinama prije negoli se tumor formira. Pretraga će sadržavati DNA-čipove, silicijske čipove koji imaju sićušne senzore koji mogu detektirati prisutnost DNA koja razotkriva razna oboljenja.

Mnogi ljudi ne vole ići liječniku. U budućnosti će vaše zdravstveno stanje biti pregledavano nekoliko puta dnevno bez vašeg znanja i potpuno neosjetno. Vaše će zrcalo u kupaonici i vaša odjeća imati DNA-čipove koji će ustanoviti imate li kolonije raka u početku razvoja u vašem tijelu. Imat ćete više senzora skrivenih u svojoj kupaonici i odjeći nego što ih ima u modernim bolnicama i na sveučilištima. Primjerice, jednostavnim puhanjem na zrcalo može se detektirati DNA mutiranoga proteina P53 koji je jedan od uzročnika u 50 posto slučajeva raka. To znači da će riječ tumor postupno nestajati iz svakodnevnog jezika.

Ako danas doživite prometnu nesreću na osamljenoj cesti, možete lako iskrvariti nasmrt. U budućnosti će vaša odjeća i vaše vozilo automatski slati signale na najmanje znakove smrtonosnih ozljeda. Zvat će hitnu pomoć, pružiti točnu lokaciju vašega vozila, proslijediti potpuni prikaz vašeg zdravstvenoga stanja, dok ste vi u stanju nesvijesti i niste sposobni to učiniti sami. U budućnosti će biti teško umrijeti sam. Vaša će odjeća moći predosjetiti neispravnosti u radu srca, disanja i moždanih valova pomoću malenih čipova ušivenih u tkanje. Kad se odjenete, bit će spojeni na internet.

Danas smo u stanju umetnuti čip u tableticu veličine aspirina zajedno s kamerom i radijom. Kad je progutate, ova pametna tableticа snima prikaze vašega jednjaka i utrobe. Zatim šalje radio signal do obližnjeg prijemnika. (To daje novi smisao sloganu "Intel inside".) Liječnici će moći slikati crijeva pacijenata i otkriti rak bez kolonoskopije (koja uključuje neugodno umetanje dvometarske cijevi u crijeva). Mikroskopski uređaji poput tih smanjit će postupno potrebu za operativnim rezanjem mesnoga tkiva.

To je samo ogledni primjerak računalnih pomagala koja će revolucionirati naše zdravlje. Opširnije ćemo raspravljati o medicini u trećem i četvrtom poglavlju, u kojima ćemo se dotaknuti genske terapije, kloniranja i produljivanja životnoga vijeka čovjeka.

ŽIVOT U BAJCI

Budući da će računalna inteligencija biti vrlo jeftina i razasuta posvuda u okolišu, neki futurolozi smatraju da bi budućnost mogla biti nalik kakvoj bajci. Ako budemo imali moć bogova, nebo koje ćemo nastanjivati bit će poput svijeta mašte. U budućnosti će internet nalikovati čarobnom zrcalu iz Snjeguljice. Reći ćemo: "Ogledalce, ogledalce…" i pojavit će se prijateljsko lice koje će nam omogućiti pristup mudrosti čitavoga planeta. Stavljat ćemo čipove u svoje igračke, koje će biti poput Pinokija koji je htio postati pravi dječak. Kao Pocahontas, pričat ćemo s vjetrom i drvećem i oni će nam odgovarati. Pretpostavljat ćemo da su predmeti inteligentni i da možemo razgovarati s njima.

Budući da će računala moći kontrolirati procese starenja, možda ćemo biti vječno mladi poput Petra Pana. Moći ćemo usporiti, a možda i obrnuti, proces starenja, poput dječaka iz Nigdjezemske. Obogaćena stvarnost dat će nam privid da ćemo se poput Pepeljuge voziti na čarobne balove u kraljevskoj kočiji i plesati s otmjenim i predivnim princem (U ponoć će se naše naočale za virtualnu stvarnost ugasiti i vratit ćemo se stvarnome svijetu.) Budući da računala razaznaju gene koji kontroliraju naše tijelo, moći ćemo preoblikovati svoja tijela, zamjenjivati organe i mijenjati svoj izgled, čak i na genetskoj razini, poput zvijeri u crtanom filmu Ljepotica i zvijer.

Neki se futurolozi pribojavaju da će to potaknuti povratak misticizmu srednjega vijeka, kad je većina ljudi vjerovala da nevidljiva bića nastanjuju sve oko njih.

SREDINA STOLJEĆA (2030. DO 2070.)

KRAJ MOOREOVA ZAKONA

Moramo se zapitati koliko dugo će trajati ovakav razvoj računalne tehnologije. Ako Mooreov zakon nastavi djelovati sljedećih 50 godina, računala će ubrzo prerasti računalnu moć ljudskoga uma. Kao što je George Harrison jednom rekao: "Sve mora jednom proći." Čak i Mooreov zakon

mora jednom prestati djelovati, a s njim i spektakularni razvoj računalne snage koji je nosio ekonomski rast zadnjih pola stoljeća.

Danas to uzimamo zdravo za gotovo i vjerujemo da nam je to pravo dano rođenjem, imati računala sa snagom koja se stalno povećava. Svake godine kupujemo računalne proizvode znajući da su dvostruko snažniji nego prošlogodišnji. Ako Mooreov zakon prestane djelovati i svaka generacija računala bude imala jednaku snagu i brzinu kao prošla, ne bismo imali razloga kupovati nova računala.

Budući da bi čipovi bili postavljeni u različite proizvode, to bi imalo katastrofalne posljedice za čitavu ekonomiju. Budući da bi sve industrije prestale funkcionirati, milijuni bi ostali bez posla, a čitav bi ekonomski sustav propao.

Već godinama fizičari ukazuju na neizbježni prestanak djelovanja Mooreova zakona, no ljudi iz industrije obično su zanemarivali naše tvrdnje tvrdeći da dižemo lažne uzbune. Kraj Mooreova zakona je predviđen toliko puta, govorili su, da više ne mogu vjerovati.

Ali više ne.

Prije dvije godine održao sam uvodni govor na konferenciji za Microsoft u njihovim glavnim prostorijama u Seattleu. Tri tisuće vrhunskih inženjera zaposlenih u Microsoftu bili su u publici i čekali što ću kazati o budućnosti računala i telekomunikacija. Gledajući u ogromnu publiku mogao sam vidjeti lica mladih, zanesenih inženjera koji će stvarati programe za naša računala. Bio sam iskren po pitanju Mooreova zakona. Rekao sam da se industrija mora pripremiti za njegov kraj. Nekoliko desetljeća ranije, izazvao bih smijeh i zvižduke. Toga puta sam naišao na ljude koji samo klimaju glavom.

Kraj Mooreova zakona pitanje je od međunarodne važnosti. Bilijuni dolara su u pitanju. Kako će taj kraj nastupiti i što će ga zamijeniti ovisi o zakonima fizike. Odgovori na ova pitanja iz fizike u krajnjoj će situaciji potresti ekonomsku strukturu kapitalizma.

Da bismo razumjeli ovakvu situaciju, važno je shvatiti da zadivljujući uspjeh računalne revolucije počiva na nekoliko načela fizike. Računala razvijaju nevjerojatnu brzinu zato što električni signal putuje brzinom koja je blizu brzine svjetlosti, a to je najveća brzina u svemiru. U samo jedno sekundi zraka svjetlosti može sedam puta okružiti Zemlju ili stići do Mjeseca. Elektroni se lako pokreću i labavo su povezani s atomom (i mogu se odvojiti češljanjem kose, hodanjem preko otirača ili pranjem rublja – zato se javlja statičko prianjanje). Spoj labave povezanosti elektrona i njihove nevjerojatne brzine omogućio nam je da šaljemo elektronske signale koji se kreću zasljepljujućom brzinom. Time je omogućena elektronička revolucija prošloga stoljeća.

Gotovo da ne postoji granica količini podataka koje možete staviti u lasersku zraku. Svjetlosni valovi mogu prenijeti nemjerljivo veći broj podataka negoli zračni valovi zato što mnogo brže vibriraju od njih. (Primjerice, kad rastegnete dugo uže i zatim protresete jedan kraj, što brže budete tresli to ćete više signala moći poslati na drugi kraj. Prema tome, čim brže budete vibrirali užetom, to ćete više informacija moći umetnuti, to jest, bit će veća frekvencija.) Svjetlo je val koji vibrira brzinom od 1014 titraja u sekundi (to je 1 s 14 nula). Potrebno je mnogo titraja da se prenese jedan bit informacije (binarna znamenka – 1 ili 0). Kabel od optičkih vlakana može prenijeti oko 1011 bitova informacije na pojedinoj frekvenciji. Taj se broj može povećati tako da se umetnu mnogobrojni signali u jedno optičko vlakno i da se više optičkih vlakana poveže u snop i napravi kabel. Ako povećamo broj kanala u pojedinom kabelu i zatim povećamo broj kabela,

moći ćemo prenositi neograničenu količinu informacija.

Računalna revolucija počiva na smanjivanju tranzistora. Tranzistor je prolaz ili prekidač koji kontrolira tok struje. Ako bismo strujni tok usporedili s instalacijama za vodu, tranzistori služe kao ventili koji kontroliraju tok vode. Jednostavno zavrtanje ventila može kontrolirati veliki obujam vode, a tranzistor dopušta da malen tok struje kontrolira mnogo veći i time povećava njegovu snagu.

U središtu te revolucije stoji računalni čip koji se sastoji od stotina milijuna tranzistora koji stoje na silicijskim pločama veličine nokta. U vašemu su prijenosnome računalu čipovi čiji se tranzistori mogu vidjeti samo pod mikroskopom. Nevjerojatno sićušni tranzistori napravljeni su na jednak način kao i uzorci na našim majicama kratkih rukava.

Uzorci na majicama proizvode se masovno tako da se prvotno izradi kalup s izvedbom uzorka koji netko želi napraviti. Kalup se stavlja na odjeću i zatim se dodaje boja iz spreja. Gdje su otvori na kalupu, ondje prodire boja. Kad se kalup ukloni, pojavljuje se savršena kopija uzorka na majici.

Tako se izradi kalup koji sadrži složeni uzorak milijuna tranzistora. Stavlja se na ploču koja ima mnogo slojeva silicija i koja je osjetljiva na svjetlo. Ultraljubičasto svjetlo usmjerava se na kalup. Prodire kroz otvore kalupa i djeluje na silicijskoj ploči.

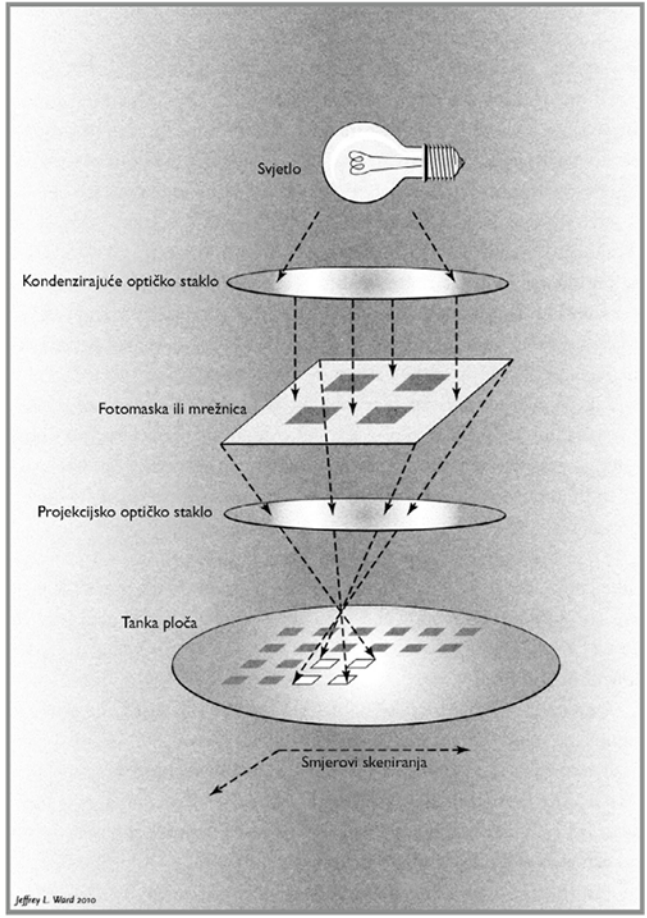
Ploča se umače u kiselinu koja urezuje uzorke i stvara složenu strukturu milijuna tranzistora. Ploča se sastoji od mnogih slojeva vodiča i poluvodiča, kiselina urezuje u ploču na različitim dubinama i u različitim uzorcima te se stvaraju krugovi ogromne složenosti.

Jedan je od razloga snažnoga razvoja snage čipova upravo to da se UV zrake mogu namjestiti da im valna duljina bude sve kraća i kraća. Time se mogu urezivati sve manji i manji tranzistori na silicijsku ploču. UV zrake su dospjele do valne duljine od svega 10 nanometara (nanometar je jedna milijarda metra). To znači da je najmanji tranzistor širok svega 30 atoma.

Taj proces ne može ići u nedogled. U jednome će trenutku biti fizikalno nemoguće urezati tranzistore veličine nekoliko atoma na takav način. Čak možemo ugrubo izračunati da će kraj Mooreova zakona nastupiti kad se izrade tranzistori veličine jednoga atoma.

Oko 2020. ili skoro nakon, Mooreov će zakon prestati djelovati i Silicijska dolina bi pomalo mogla postati gospodarski nazadan pojas osim ako se ne pronađe zamjenska tehnologija.

Silicijsko doba će doći svome kraju sukladno prirodnim zakonima. Ući ćemo u Postsilicijsko doba. Tranzistori će biti toliko maleni da počinje vrijediti kvantna teorija ili atomska fizika. Elektroni će istjecati iz žica. Najtanji sloj u vašem će računalu biti širok 5 atoma. Sukladno prirodnim zakonima



Kraj Mooreova zakona. Čipovi se proizvode na isti način kao i uzorci na majicama. Umjesto štrcanja boje preko kalupa, UV zrake se fokusiraju na kalup i progorijevaju prikaz u slojeve silicija. Kiselinom se izrezbari prikaz i stvaraju se stotine milijuna tranzistora. Granica se međutim nazire u trenutku kad budemo dostigli razinu veličine atoma. Hoće li Silicijska dolina postati gospodarski nazadan pojas?

na toj razini počinje vrijediti kvantna teorija. Heisenbergovo načelo neodređenosti tvrdi da se ne može odrediti točan položaj i brzinu pojedine čestice. Na razini atoma jednostavno se ne može odrediti gdje se nalazi elektron tako da ga se ne može ograničiti u ultra-tankoj žici ili sloju. Posljedica je da on u tome slučaju iscuri i prouzroči kratki spoj.

O svemu tome ćemo detaljnije raspraviti u četvrtom poglavlju, u kojemu ćemo analizirati nanotehnologiju. U ostatku toga poglavlja ćemo pretpostaviti da će fizičari pronaći nasljednicu za silicijsku snagu. Računalna će snaga nastaviti rast sporijim tempom nego ranije. Razvoj će i dalje slijediti eksponencijalni rast, ali vrijeme potrebno za njeno udvostručenje više neće biti 18 mjeseci, već više godina.

MIJEŠANJE STVARNOSTI I VIRTUALNE STVARNOSTI

Do sredine stoljeća živjet ćemo u mješavini realnosti i virtualnosti. Gledat ćemo u svojim kontaktnim lećama virtualne prikaze ujedno prateći realne događaje. To je vizija Susumua Tachija

sa Sveučilišta Keio u Japanu, ali i mnogih drugih. On osmišljava posebne naočale koje sjedinjuju maštu i stvarnost. Za početak želi postići da stvari nestanu bez traga.

Posjetio sam profesora Tachija u Tokiju i svjedočio njegovim čudnovatim pokusima miješanja realnosti i virtualnosti. Jednostavnom aplikacijom postiže da predmet nestane (barem u vašim naočalama). Obukao sam posebanu smeđu kabanicu. Kad sam pružio ruke, nalikovale su na veliko jedro. Kamera je snimala moju kabanicu, a druga krajolik iza mene koji je prikazivao autobuse i automobile kako se kreću po cesti. Zatim je računalo stopilo zajedno dva prikaza tako da je prikaz iza mene bio projiciran na moju kabanicu kao na ekran. Kad biste pogledali kroz posebne leće, moje bi tijelo nestalo, a vidio bi se prikaz autobusa i automobila. Budući da mi je glava virila iz kabanice, činilo se kao da lebdi u zraku bez tijela, poput Harrya Pottera dok nosi svoj ogrtač nevidljivosti.

Profesor Tachi mi je pokazao i jedan poseban par naočala. Mogao sam vidjeti stvarne predmete i učiniti da nestanu. To nije prava nevidljivost, jer djeluje samo ako nosite naočale koje spajaju dva prikaza. Međutim, dio je velikoga programa profesora Tachija koji se ponekad naziva "proširena stvarnost".

Do sredine stoljeća živjet ćemo u potpuno funkcionalnome kibernetskome svijetu koji spaja stvarni svijet s računalnim prikazima. Naše radno mjesto, trgovina, zabava i način života mogli bi se iz temelja promijeniti. Proširena stvarnost imat će izravne posljedice na tržište. Prva komercijalna primjena mogla bi biti da se predmeti učine nevidljivima ili da se nevidljivo učini vidljivim.

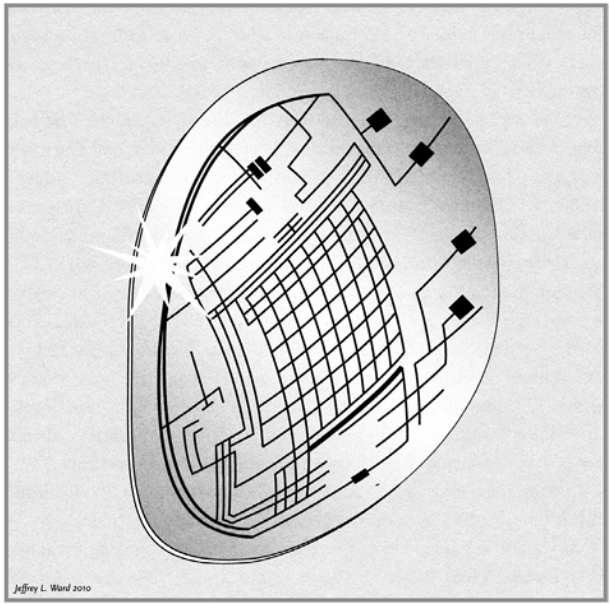
Piloti i vozači tako će moći vidjeti 360 stupnjeva ukrug zato što će im naočale omogućavati pogled kroz metalne stijenke vozila ili zrakoplova. Time će se ukloniti mrtvi kut koji je uzročnik velikoga broja prometnih nesreća. U zračnoj bitci piloti će moći pratiti neprijateljski zrakoplov gdje god se on nalazio, pa čak i ispod, kao da je vlastiti zrakoplov proziran. Vozači će vidjeti u svim smjerovima s obzirom na to da će im kontaktne leće prenositi prikaz sviju smjerova.

Kad astronaut bude nešto popravljao izvan svemirskoga broda, to će mu biti od koristi, budući da će moći vidjeti kroz zidove u odjeljke i oplatu broda. To će možda spasiti mnoge živote. Kad građevinar bude izvršavao podzemne popravke usred šume žica, cijevi i ventila, znat će točno kako je sve to povezano. To bi moglo biti od iznimne važnosti kod eksplozije plina ili pare kad se cijevi skrivene iza zidova moraju hitro popraviti i povezati.

Ako ste istraživač, moći ćete vidjeti kroz tlo u potrazi za podzemnim spremnicima vode ili nafte. Sateliti i zrakoplovi fotografirat će teren UV i infracrvenim zrakama. Analizirani prikaz površine i onoga ispod nje pojavit će se u vašim kontaktnim lećama. Dok budete hodali pustim terenom, vidjet ćete vrijedne spremnike minerala pomoću svojih leća.

Osim što ćemo moći učiniti predmete nevidljivima, moći ćemo raditi i suprotno: učiniti nevidljivo vidljivim.

Arhitekt će moći hodati po praznoj prostoriji i vidjeti potpuni trodimenzionalni prikaz građevine koju projektira. Projekti na njegovim nacrtima iscrtavat će se dok bude hodao po praznoj prostoriji. Prazne prostorije će odjednom oživjeti, dobit će namještaj, tepihe i dekoracije na zidovima. Omogućit će mu da vizualizira svoju kreaciju u trodimenzionalnom prikazu prije nego što stvarno bude išta izgradio. Jednostavnim pokretom ruke moći će stvoriti nove sobe, zidove i namještaj. U tom pojačanom svijetu, imat ćemo moć čarobnjaka koji maše svojim štapićem i stvara predmete po volji.



Internetske kontaktne leće prepoznavat će ljudska lica, izlistavati njihove životopise i prevoditi njihove riječi u titlovima kao na televiziji. Turisti će se njima koristiti da uskrsnu drevne spomenike. Umjetnici i arhitekti služit će se njima za oblikovanje svojih virtualnih kreacija. Bezbrojne su mogućnosti u proširenoj stvarnosti.

PROŠIRENA STVARNOST: REVOLUCIJA U TURIZMU, UMJETNOSTI, KUPOVANJU I RATOVANJU

Kao što ste vidjeli, implikacije za trgovinu i rad potencijalno su neizmjerne. Gotovo bi se svaki posao mogao obogatiti proširenom stvarnošću. Naši će životi, zabava i društvo u cjelini biti unaprijeđeni primjenom ove tehnologije.

Turisti će u muzeju dobivati informaciju svakoga izloška na svojim kontaktnim lećama, virtualni vodič će vam dati računalni opis dok prolazite pred izlošcima. Kad budete posjetili drevne ruševine, moći ćete vidjeti potpune rekonstrukcije građevina i spomenika u punome sjaju i dobiti povijesne pripovijesti. Ostaci Rimskoga Carstva ponovno će oživjeti iz stupova i korova dok šećete i dati vam potpun komentar i povijesne bilješke.

Tehnološki institut u Pekingu poduzeo je prve dječje korake u tome smjeru. U kibernetskome prostoru je nanovo stvoren bajoslovni Vrt savršene svjetlosti koji su uništile britanske i francuske snage u Drugom opijumskome ratu 1860. godine. Sve što je ostalo od bajnoga vrta su ruševine koje su za sobom ostavile trupe. Kad pogledate na vrt kroz posebnu platformu za gledanje, možete vidjeti čitavi vrt u punome sjaju. U budućnosti će to biti uobičajena stvar.

Još razvijeniji sustav razvio je Nikolas Neecke. On je stvorio virtualnu šetnju Baselom u Švicarskoj. Kad hodate starim ulicama, vidite prikaze starih građevina i ljudi kao da ste vremenski putnik. Računalo određuje vaš položaj i pokazuje vam scene srednjega vijeka u vašim naočalama. Danas morate nositi velike naočale s teškom naprtnjačom na leđima punom GPS elektronike i računalom. Sutra ćemo imati sve to u kontaktnim lećama.

Kad se budemo vozili u stranoj zemlji, vidjet ćemo objašnjenja prometnih znakova, znamenitosti i krajolika. Svi će prometni znakovi biti prevedeni.

Izletnik, kamper ili planinar znat će svoj točan položaj u stranoj zemlji. Znat će i točne nazive biljaka i životinja, vidjet će geografsku kartu područja u kojemu se nalaze i dobivati vremensku prognozu. Vidjet će tračnice i kampove koji su skriveni u krajoliku grmljem i drvećem.

Ljudi koji kane kupiti stan vidjet će što je na prodaju dok budu šetali ulicom ili se vozili u automobilu. Vaše će leće izvjesiti cijenu, namještaj itd. svakoga stana i kuće koja je na prodaju.

Gledajući na noćno nebo vidjet ćete sve zvijezde i sazviježđa jasno ocrtana, kao da gledate predstavu u planetariju. Moći ćete vidjeti gdje se nalaze galaksije, daleke crne rupe, ostale astronomske zanimljivosti i ujedno pronaći zanimljiva predavanja.

Osim što ćemo vidjeti kroz predmete i posjećivati strane zemlje, proširena vizija će biti ključna u trenutcima kad nam bude potrebna specijalizirana informacija.

Glumci, glazbenici ili kakav izvođač koji mora zapamtiti ogromne količine teksta ili drugih podataka, u budućnosti će vidjeti rečenice ili glazbu u lećama. Više neće biti potrebe za teleprompterom, karticama s tekstom i notnim zapisima. Više ništa neće trebati pamtiti.

Drugi su primjeri:

- Studenti će moći pogledati propušteno predavanje. Pojavit će se profesor pred vama koji će vam odgovoriti na bilo koje pitanje. Moći ćete vidjeti i demonstracije eksperimenata, video snimke, itd.

- Vojnik na bojištu moći će primati na svojim posebnim naočalama svježe informacije o položaju neprijateljskih trupa, geografskim kartama, smjeru neprijateljske vatre, upute svojih nadređenih i tako dalje. U bitci na terenu s neprijateljem, kad metci budu dolazili sa svih strana, moći će vidjeti kroz prepreke i brjegove i locirati neprijatelja, budući da će bespilotne letjelice prelijetati i određivati njihov položaj.

- Pri izvođenju osjetljive operacije, kirurg će vidjeti unutar pacijenta (pomoću prijenosnih uređaja za magnetnu rezonanciju), kroz tijelo (pomoću pokretnih senzora u tijelu). Imat će sve liječničke preglede i snimke prijašnjih operacija.

- Kad budete igrali video igre, moći ćete uroniti u kibernetski prostor u svojim kontaktnim lećama. I premda ste u praznoj prostoriji, vidjet ćete sve svoje prijatelje u trodimenzionalnom prikazu i zajedno ćete iskusiti neki vanzemaljski krajolik. Pripremat ćete se za bitku s izmišljenim vanzemaljcima u kojoj će oko vas sijevati laserske eksplozije.

- Ako budete htjeli doznati statistiku kojega sportaša ili neki drugi sportski podatak, informacija će se u trenu pojaviti na vašim kontaktnim lećama.

To znači da više nećete trebati mobitel, sat ili MP3 uređaj. Svi uređaji i njihove ikone bit će projicirani u vaše leće tako da ćete ih moći koristiti kad god poželite. Pozivi na mobitel, glazbene internetske stranice i slično bit će nam na taj način na raspolaganju. Mnogi će kućanski uređaji

moći biti zamijenjeni u proširenoj stvarnosti.

Još jedna znanstvenica probija granice proširene stvarnosti. Pattie Maes iz MIT-jeva laboratorija Media Lab zamislila je da se ugrade računalni ekrani na uobičajene predmete u našem okolišu. Njezina je zamisao – koju je nazvala Šesto čulo (SixthSense) – da objesimo sićušnu kameru s projektorom oko vrata, poput medaljona. Projektor bi odašiljao sliku računalnoga ekrana na bilo što pred vama. Na projiciranoj tipkovnici davali bismo upute. Sve ravne površine oko nas mogle bi se koristiti kao računalni ekrani.

Nosit ćemo plastične naprstke na vrhovima prstiju. Kako budemo pomicali prste, računalo će izvršavati naše odredbe na ekranima. Pomicanjem prstiju moći ćemo crtati. Ako prstima nacrtate kvadrat, aktivira se kamera i možete slikati fotografije.

Kad budete išli u kupovinu, vaše će računalo očitati različite proizvode, odrediti njihov identitet, dati vam potpuni izvještaj s oznakom sastava, kalorijskoga sadržaja i mišljenjem kupaca. Budući da će čipovi koštati manje nego bar kod, svaki će trgovački proizvod imati vlastitu "pametnu" naljepnicu koju ćete moći očitati.

Još jedna u nizu primjena visoke tehnologije u sklopu proširene stvarnosti bit će uporaba rendgenskih naočala. Bit će nalik naočalama u stripu Superman koje koriste proces retroaktivne difuzije rendgenskih zraka. Naočale osjetljive na rendgenske zrake moći će gledati kroz zidove. Gledajući oko sebe moći ćemo vidjeti kroz predmete kao u stripu. Svako je dijete čitajući strip Superman sanjalo da bude "brže od ispaljenoga metka, snažnije od lokomotive". Na tisuće djece je oblačilo plašteve, skakalo sa sanduka, pokušavalo se vinuti u zrak i letjeti. Glumili su također da imaju rendgenski vid. Sad je to realna mogućnost.

Problem s običnim rendgenskim zrakama jest da se mora postaviti rendgenska traka iza svakoga predmeta, zatim usmjeriti zrake na predmet i razviti slike. Rendgenske zrake s retroaktivnom difuzijom rješavaju problem. Rendgenske zrake isijavaju iz svjetlosnoga izvora koji može ispuniti prostoriju. Zatim se odbijaju od zidova i prolaze iza predmeta kroz koje kanite gledati. Vaše su naočale osjetljive na rendgenske zrake koje su prošle kroz objekt. Prikaz koji dobivamo pomoću naočala s retroaktivnom difuzijom zraka ima istu kvalitetu kao i prikaz koji nalazimo u stripu. (Povećavanjem osjetljivosti naočala, možemo smanjiti intenzitet zraka i smanjiti rizike za zdravlje.)

UNIVERZALNI PREVODITELJI

U Zvjezdanim stazama, u sagi Ratovi zvijezda i svim znanstvenofantastičnim filmovima, vanzemaljci začudo savršeno govore engleski. Univerzalni prevoditelj omogućuje stanovnicima Zemlje da komuniciraju izravno sa stranom civilizacijom. Uklonjena je jezična barijera i nije potrebno koristiti jezik znakova i gesta.

Premda su ga nekoć držali nerealno futurističkim, univerzalni prevoditelj već postoji u nekoliko inačica. U budućnosti će turisti u stranoj zemlji pričati s domaćim ljudima i vidjeti prijevod kao u stranim filmovima. Računalo će moći proizvesti i akustički prijevod koji će se emitirati u vaše uši. Dvoje će ljudi moći voditi razgovor svatko na svome jeziku, a oboje će čuti prijevod, ako budu imali univerzalni prevoditelj. Prijevod neće biti savršen, zato što će uvijek biti problema s idiomima, žargonom i živopisnim izrazima, ali bit će dovoljno dobar da se razumije suština poruke.

Postoji nekoliko načina kako znanstvenici to pretvaraju u stvarnost. Prvi je način da se napravi uređaj koji će prevoditi izgovorenu u pisanu riječ. Sredinom devedesetih godina pojavili su se na tržištu prvi uređaji za prepoznavanje govora. Bili su u stanju prepoznati oko 40 000 riječi s preciznošću od 95%. Budući da se u običnom svakodnevnom razgovoru ne koristi više od 500 do 1000 riječi, ti uređaji odgovaraju potrebi. Kad se obavi prijepis ljudskoga glasa, svaka se riječ prevodi pomoću računalnih rječnika. Težak dio je stavljanje riječi u kontekst, prevođenje kolokvijalnoga govora i slično. Sve to zahtijeva sofisticirano shvaćanje nijansi jezika. Područje bavljenja naziva se CAT (engl. computer assisted translation, računalno potpomognuto prevođenje).

Drugome načinu posvetilo se na Sveučilištu Carnegie Mellon u Pittsburghu. Njihovi znanstvenici su već razradili prototipove tehnologije kojom se prevodi kineski na engleski, a engleski na španjolski i njemački. Namjeste elektrode na vrat i lice govornika, koje potom očitavaju kontrakcije mišića i dešifriraju izgovorene riječi. Funkcioniranje ne zahtijeva audio opremu, jer se riječi iščitavaju prema radu mišića. Računalo prevodi riječi, a oponašatelj glasa izgovara riječi. U jednostavnom razgovoru koji uključuje 100 do 200 riječi do sada su postigli 80 posto preciznosti.

Prema riječima Tanje Schultz, jedne od istraživača, zamisao je da izgovorite riječi na engleskom bez da proizvedete zvuk, a da ih računalo prevede na kineski ili koji drugi jezik. Možda će biti moguće osposobiti računalo da čita s usana sugovornika, čime bi elektrode bili nepotrebne. Bit će posve izvedivo da vidimo dvije osobe u živome razgovoru koji se odvija na dva različita jezika.

Jezične barijere koje su nekoć tragično sprječavale suštinsko razumijevanje među kulturama mogle bi postupno minuti pomoću univerzalnoga prevoditelja i internetskih kontaktnih leća ili naočala.

Premda proširena stvarnost otvara sasvim novi svijet, postoje neka ograničenja. Problem neće biti u strojnoj opremi niti će prijenos podataka biti ograničavajući čimbenik, jer nema ograničenja za količinu podataka koji se mogu prenijeti kablovima od optičkoga vlakna.

Pravi zastoj bit će u programskoj podršci. Stvaranje programa može se izvoditi na tradicionalan način. Ljudsko biće za stolom s olovkom, papirom i prijenosnim računalom mora zapisivati kodove, znak po znak, koji oživljavaju imaginarne svjetove. Moguće je omasovljenje strojne računalne opreme i njeno poboljšavanje dodavanjem čipova, ali ne može se omasoviti proizvodnja mozgova. Pojava zaista proširene stvarnosti morat će pričekati nekoliko desetljeća, do sredine stoljeća.

HOLOGRAMI I TRODIMENZIONALNOST

Tehnološki napredak mogao bi nam do sredine stoljeća pokloniti pravu trodimenzionalnu televiziju i kino. Pedesetih godina dvadesetoga stoljeća u trodimenzionalnim kinima se trebalo staviti masivne naočale čije je jedno staklo bilo crveno, a drugo plavo. Iskoristili su činjenicu da lijevo i desno oko nije poravnato. Filmsko je platno prikazivalo dvije slike, jednu plavu, drugu crvenu. Naočale su djelovale kao filtri koji su davali dvije različite slike lijevome i desnome oku, a to je davalo dojam trodimenzionalnosti kad su se u mozgu sklapale dvije slike. Dubinska je percepcija bila trik. (Što su vam raširenije oči, to vam je dublja percepcija. Neke životinje imaju oči na vanjskim stranama glave kako bi imale što dublju percepciju.)

Napredak u razvoju se dogodio kad su napravljene naočale od polariziranoga stakla. Lijevom i desnom oku prikazana su dva različita polarizirana prikaza. Tako možemo vidjeti prave trodimenzionalne slike u svim bojama, a ne samo u plavoj i crvenoj. Budući da je svjetlost val, može vibrirati prema gore i prema dolje, lijevo i desno. Polarizirane leće dopuštaju svjetlosti da prođe samo u jednome smjeru. S dvama polariziranim lećama u naočalama i različitim smjerovima polarizacije možemo stvoriti 3D učinak. Sofisticiranija inačica trodimenzionalnosti sastoji se u projiciranju dvaju različitih prikaza u naše kontaktne leće.

Na tržištu su se već pojavili trodimenzionalni televizori koji zahtijevaju uporabu posebnih naočala. Uskoro 3D televizori više neće imati potrebe za naočalama, jer će koristiti bikonveksne leće. Televizijski ekran je osobito izrađen da šalje dvije različite slike, svaku za jedno oko. Vaše oči vide različite slike, tako da imate iluziju trodimenzionalnosti. Međutim, položaj glave mora vam biti ispravan. Postoje optimalne pozicije iz kojih vaše oči moraju gledati u ekran. (To je vrlo poznata optička iluzija. U trgovinama darovima možemo naći fotografije koje se čarobno mijenjaju dok prolazimo pored njih. To se postiže tako da se izrežu i izmiješaju tanke pruge dviju fotografija i stvori složena slika. Slojevi bikonveksnih leća s mnogo vertikalnih žljebova postavljeni su na sliku. Svaki žljeb postavljen je točno na dvije pruge. Žljeb je osobito izrađen da možete vidjeti jednu prugu dok gledate iz jednoga kuta, a drugu iz drugoga. Kad prolazimo pokraj slojevitoga stakla, vidimo kako se mijenjaju sve fotografije i prelaze jedna u drugu. Trodimenzionalni će televizori zamijeniti nepokretne pokretnim slikama i postići isti učinak bez uporabe naočala.).

Najnaprednija inačica trodimenzionalnosti bit će hologrami. Bez uporabe naočala moći ćemo vidjeti točnu valnu frontu trodimenzionalnoga prikaza kao da se zaista nalazi pred nama. Hologrami postoje već desetljećima (nalazimo ih u trgovinama darovima, na kreditnim karticama i na izložbama), a redovno se njima služe i u filmovima znanstvene fantastike. U Ratovima zvijezda radnja počinje trodimenzionalnom holografskom porukom princeze Leie članovima Pobunjeničkog saveza.

Holograme je, međutim, vrlo teško napraviti.

Hologrami se rade tako da se jedna laserska zraka razdvoji na dvije. Jedna zraka pada na predmet koji želite fotografirati te se odbija i pada na poseban ekran. Druga zraka pada izravno na ekran. Miješanje dvaju zraka stvara složeni obrazac interferiranih valova koji stvara "smrznuti" 3D prikaz izvornoga predmeta. Obrazac je uhvaćen na posebnoj vrpci na ekranu. Projiciranjem još jedne laserske zrake kroz ekran nastaje prikaz izvornoga predmeta u realnoj 3D veličini.

Postoje dva problema u vezi s holografskom televizijom. Slika mora biti projicirana na ekran. Sjedeći ispred ekrana vidite pravi trodimenzionalni prikaz izvornoga predmeta, ali ne možete posegnuti i dotaknuti predmet. Prikaz ispred vas je iluzija.

Ako gledate 3D nogometnu utakmicu na svojoj holografskoj televiziji, bez obzira kako se pomakli prikaz pred vama mijenja se kao da je stvaran. Činit će vam se kao da sjedite uz rub terena, na nekoliko centimetara od igrača. Ako posegnete da dohvatite loptu, udarit ćete ipak u ekran.

Istinski tehnološki problem koji je kočio razvoj holografskih televizora bilo je pohranjivanje informacija. Pravi 3D prikaz sadrži ogromnu količinu informacija, mnogostruko veću od jednostavnih 2D prikaza. Računala redovito obrađuju 2D slike, budući da je slika razlomljena na malene točkice, zvane pikseli, a svaki piksel je osvijetljen sićušnim tranzistorom. Da biste postigli da se 3D prikaz kreće, morate emitirati 30 slika u sekundi. Brzim izračunom shvaćamo da količina

informacija potrebna da se stvore pokretni 3D holografski prikazi kudikamo nadilazi kapacitete današnjega interneta.

Do sredine bi se stoljeća mogao riješiti taj problem, ako brzina prijenosa informacija s interneta nastavi rasti eksponencijalnim razvojem.

Kako bi mogao izgledati istinski 3D televizor?

Jedna je mogućnost ekran u obliku valjka ili kupole u kojoj biste sjedili. Holografski prikaz emitira se na ekrane, a 3D slike nas okružuju kao da su zaista prisutne.

DALEKA BUDUĆNOST (2070. – 2100.)

UM NADVISUJE MATERIJU

Do kraja ovog stoljeća upravljat ćemo računalima izravno putem uma. Poput grčkih bogova, pomislit ćemo na neke naredbe i one će se početi izvršavati. Temelji te tehnologije već su položeni. Trebat će međutim nekoliko desetljeća napornoga rada da se usavrši. Ova revolucija se sastoji od dva dijela: treba osposobiti um da upravlja predmetima oko njega, a računala moraju dešifrirati želje pojedinaca kako bi ih mogla ispuniti.

Prvi važan napredak dogodio se 1998. godine, kad su znanstvenici sa Sveučilišta Emory i sa Sveučilišta u Tübingenu u Njemačkoj umetnuli sićušnu staklenu elektrodu izravno u mozak 56-godišnjega čovjeka koji je bio paraliziran. Elektroda je spojena na računalo koje je analiziralo signal iz mozga. Čovjek je mogao vidjeti strjelicu miša na računalnom ekranu. Bio je u stanju povratnom biološkom reakcijom kontrolirati strjelicu miša na računalnome ekranu samim pomišljanjem da to učini. Po prvi puta u povijesti uspostavljen je izravni kontakt između ljudskoga uma i računala.

Najsofisticiranija inačica te tehnologije razvijena je na Sveučilištu Brown. Neuroznanstvenik John Donoghue razvio je uređaj BrainGate koji pomaže ljudima koji su pretrpjeli oštećenja mozga da ponovno komuniciraju. Stvorio je medijsku senzaciju i dospio na naslovnicu časopisa Nature 2006. godine.

Donoghue mi je rekao da je njegov san vidjeti kako BrainGate revolucionizira naš način postupanja s oštećenjima mozga iskorištavanjem pune snage informatičke revolucije. Život pacijenata se već čudnovato izmijenio zahvaljujući uređaju, a ostaju velike nade u daljnji razvoj tehnologije. Kad je bio dijete bio je vezan za invalidska kolica zbog degenerativne bolesti od koje je patio, tako da jako dobro poznaje osjećaj bespomoćnosti i osobno je vezan uz položaj pacijenata.

Njegovi pacijenti su žrtve moždanoga udara. Ostali su paralizirani i ne mogu komunicirati sa svojim voljenima, premda im mozak funkcionira. Umetnuo je čip širine 4 milimetra u područje mozga koje kontrolira motoričke pokrete. Čip je povezan s računalom koje analizira i obrađuje moždane signale i šalje poruku prijenosnome računalu.

U prvom trenutku pacijent nema kontrolu nad strjelicom miša, ali može vidjeti kamo ide. Metodom pokušaja i pogrješke pacijent uči upravljati strjelicom i nakon nekoliko sati je u stanju pomicati strjelicu po bilo kojem dijelu ekrana. Vježbanjem može čitati i pisati e-mailove i igrati video igre. Paralizirana osoba može izvršavati sve radnje koje može obavljati računalo.

Donoghue je počeo s četiri pacijenta. Dvojica su imala ozljede leđne moždine, jedan je pretrpio moždani udar, a četvrti je imao amiotrofičnu lateralnu sklerozu (ALS). Premda je bio tetraplegičar paraliziran od vrata nadolje, jednome od njih je trebao svega jedan dan da uspije savladati upravljanje strjelicom miša. Danas on upravlja televizorom, pomiče strjelicu miša, igra video igre i čita e-mailove. Pacijenti mogu upravljati svojom mobilnošću kontrolirajući motorna invalidska kolica.

Sve to ravno je čudu za ljude koji su paralizirani. U jednom trenutku su zarobljeni i bespomoćni u svome tijelu, a u drugome pretražuju internet i razgovaraju s ljudima diljem svijeta.

(Jednom sam prigodom bio pozvan na svečanu večeru u čast velikoga kozmologa Stephena Hawkinga u Lincolnovom Centru u New Yorku. Bilo je vrlo tužno vidjeti ga zarobljenog u kolicima, nesposobnog da pomakne išta drugo osim mišića na licu i očnih kapaka, dok su mu medicinske sestre držale glavu i pomicale ga po dvorani. Potrebni su sati i dani iscrpljujućega napora da prenese jednostavne ideje pomoću glasovnoga uređaja. Zapitao sam se je li prekasno da se i on posluži tehnologijom BrainGate. Tada je John Donoghue, koji je također bio u publici, ustao i došao do mene da me pozdravi. Tako da izgleda da je BrainGate najbolja Hawkingova opcija.)

Druga je grupa znanstvenika sa Sveučilišta Duke postigla slične rezultate s majmunima. Miguel A. L. Nicolelis i njegova skupina postavili su čip u mozak majmuna. Taj je čip povezan s mehaničkom rukom. Na početku je majmun lamatao rukom ne znajući kako je kontrolirati. Uz malo vježbe majmuni su ipak u stanju polako kontrolirati pokrete mehaničke ruke – primjerice pomičući je da dohvati bananu. Mogu instinktivno pomicati ruku kao da je njihova. Nicolelis tvrdi da postoje neki fiziološki dokazi da se tijekom pokusa osjećaju povezaniji s robotom nego s vlastitim tijelima.

Sve to znači da ćemo jednoga dana kontrolirati strojeve koristeći same misli. Paralizirani bi ljudi mogli kontrolirati noge i ruke. Mogli bismo spojiti umjetne udove zaobilazeći leđnu moždinu izravno s mozgom tako da bi osoba ponovno mogla hodati. Također, sve to polaže temelje za naše kontroliranje svijeta pomoću uma.

ČITANJE MISLI

Budući da mozak može kontrolirati računalo ili mehaničku ruku, može li računalo čitati misli osobe bez da se stave elektrode unutar mozga?

Još od 1875. znamo da se mozak zasniva na elektricitetu koji prolazi kroz njegove neurone i koji stvara lagane električne signale koji se mogu mjeriti postavljanjem elektroda oko glave. Analizom električnih impulsa koje bilježe elektrode možemo snimiti moždane valove. Metoda se naziva EEG (elektroencefalogram). Bilježi znatne promjene u mozgu poput spavanja i raspoloženja, poput uzrujanosti, ljutnje, itd. Izlazne informacije EEG-a prikazuju se na računalu koje ispitanik može gledati. Nakon nekoga vremena osoba je u stanju pomicati strjelicu samom misli. Niels Birbaumer sa Sveučilišta u Tübingenu već je uspio izvježbati djelomično paralizirane ljude da tako tipkaju jednostavne rečenice.

Čak i proizvođači igračaka za djecu koriste ovu tehnologiju. NeuroSky je jedna od tvrtki koja je plasirala na tržište povez za glavu s ugrađenim elektrodama. Ako se usredotočite, možete aktivirati EEG unutar poveza i kontrolirati igračku. Možete, na primjer, podići lopticu za stolni tenis u valjkastoj kutiji bez da je dirate.

Prednost je EEG-a da može brzo ustanoviti različite frekvencije koje emitira mozak bez složene i skupocjene opreme. Veliki mu je nedostatak da ne može lokalizirati misli u određenim područjima mozga.

Mnogo sofisticiranija metoda naziva se fMRI (engl. functional magnetic resonance imaging, funkcionalna magnetska rezonancija). Ona se znatno razlikuje od EEG-a. To je pasivni uređaj koji jednostavno očitava električne signale iz mozga tako da ne možemo odrediti njihovo ishodište. Metoda fMRI koristi učinak jeke koju stvaraju radio valovi. Omogućuje nam da lociramo izvorište različitih signala i da razvijemo spektakularne 3D prikaze unutrašnjosti mozga.

Uređaj za fMRI je vrlo skup i zahtijeva laboratorij prepun opreme, ali već nam je pružio zadivljujuće uvide u pojedinosti funkcioniranja mozga. Metoda fMRI omogućava znanstvenicima da odrede prisutnost kisika koji se nalazi u hemoglobinu u krvi. Budući da hemoglobin obogaćen kisikom sadrži energiju koja pokreće staničnu aktivnost, određivanje toka kisika omogućava da se ocrta tok misli u mozgu.

Joshua Freedman sa Sveučilišta u Kaliforniji iz Los Angelesa tvrdi: "Kao da smo astronomi u šesnaestom stoljeću nakon izuma teleskopa. Vrlo pametni ljudi tisućljećima su promišljali o kretanjima zvijezda i planeta, ali mogli su samo pretpostavljati što se nalazi izvan dosega ljudskoga promatranja. Odjednom je nova tehnologija omogućila da vide što se točno nalazi ondje."

Uređaji fMRI mogu detektirati kretanje misli u živome mozgu do razlučivosti od 0,1 milimetra – manje od oštrice igle – što odgovara veličini nekoliko tisuća neurona. Prema tome fMRI može pružiti trodimenzionalne slike toka energije unutar mislećega mozga i to sa začudnom preciznošću. Pojavit će se fMRI uređaji koji će moći detektirati na razini neurona. Tada ćemo moći izdvojiti obrasce neurona koji odgovaraju pojedinim mislima.

Važan napredak ostvaren je nedavno na Sveučilištu California u Berkeleyju. Kendrick Kay i njegove kolege su napravili fMRI skeniranje ljudi koji su gledali slike različitih predmeta poput hrane, životinja, ljudi i uobičajenih predmeta različitih boja. Kay i kolege su stvorili računalni program koji može povezati predmete i odgovarajuće fMRI obrasce. Što je osoba vidjela više predmeta, to je bolje računalni program identificirao predmete na fMRI prikazu.

Tada su pokazali istim osobama potpuno nove predmete, a računalni program je često točno povezao predmete s fMRI prikazom. Kad im je pokazano 120 slika novih objekata, program je točno identificirao fMRI prikaz tih predmeta s 90 posto preciznosti. Kad je osobama bilo prikazano 1000 novih slika, program ih je prepoznavao s 80 posto preciznosti.

Kay tvrdi da je moguće identificirati između velikoga broja potpuno novih prirodnih slika koju specifičnu sliku je osoba već vidjela… Uskoro bi moglo biti moguće da rekonstruiramo sliku vizualnoga iskustva pojedine osobe pomoću mjerenja aktivnosti mozga.

Cilj takvoga pristupa je stvoriti "rječnik misli" tako da bi svaki predmet u potpunosti odgovarao pojedinoj fMRI slici. Čitanjem fMRI obrazaca moći ćemo odgonetnuti o čemu osoba razmišlja. Računalo će moći očitavati na tisuće fMRI obrazaca koje se izmjenjuju u mislećemu mozgu i odgonetnuti svaki pojedini obrazac. Tako bi se mogao dešifrirati tok svijesti pojedinaca.

FOTOGRAFIRANJE SNA

Problem s ovom tehnikom jest u tome da se ne može reproducirati slika psa na kojega u tome

trenutku mislite, premda vam se može kazati da zaista mislite na psa. Nov smjer u istraživanju pokušava rekonstruirati točnu sliku na koju mozak misli da bismo stvorili video snimak ljudskih misli. Tako bismo mogli napraviti video snimak sna.

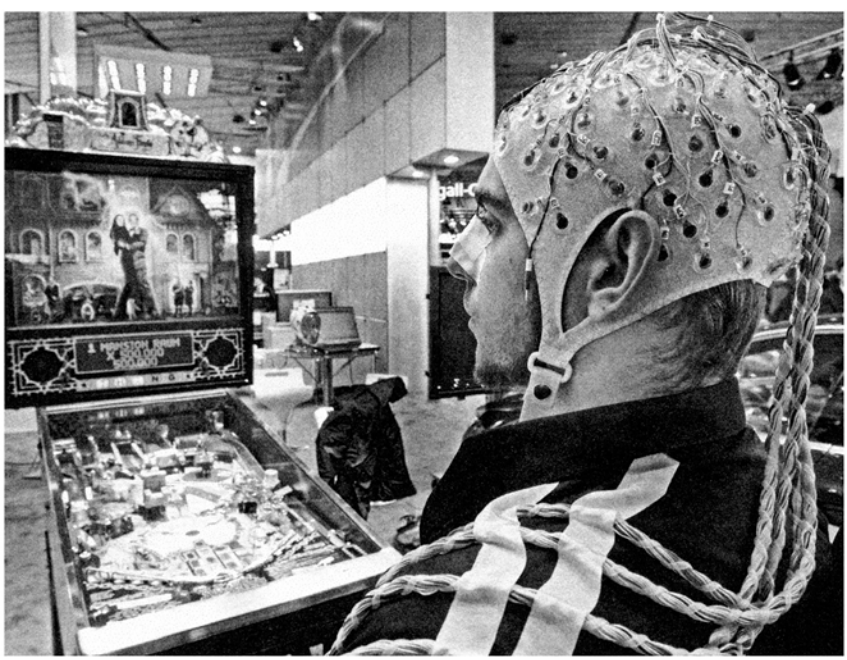
Od pamtivijeka su ljudi fascinirani snovima, prolaznim slikama koje je ponekad veoma teško dozvati u sjećanje ili razumjeti. Hollywood je odavno zamislio uređaje koji će jednoga dana moći odaslati misli nalik na snove u mozak ili snimiti takve misli, na primjer u filmu Potpuno sjećanje. Sve je to međutim bila puka spekulacija.

To jest, donedavno.

Znanstvenici su ostvarili znatan napredak u području za koje se to nekoć mislilo neostvarivim – pravljenje snimaka našega pamćenja i naših snova. Prvi koraci u tom smjeru poduzeti su u Zavodu za računalnu neuroznanost Laboratorija za napredna telekomunikacijska istraživanja u Kyotu (engl. Advanced Telecommunications Research (ATR) Computational Neuroscience Laboratory). Pokazali su različitim osobama točkice svjetla na različitim položajima. Upotrijebili su fMRI uređaj kako bi odredili gdje je mozak spremio informaciju. Pomakli su točkicu svjetla i odredili novi položaj spremanja informacije. Na kraju su imali kartu različitih položaja točkice svjetla i položaja spremanja informacije u mozgu. Točkicama je određen položaj na rešetkastoj mreži 10 x 10.

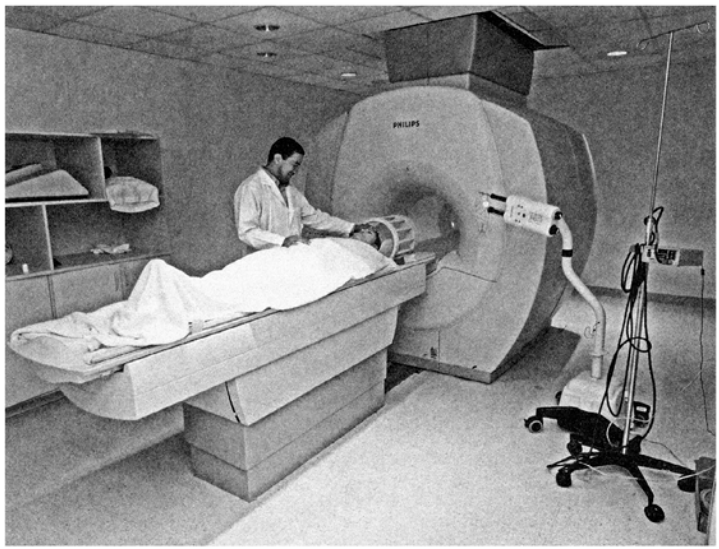
Znanstvenici su projicirali jednostavne predmete napravljene od 10 x 10 točaka, poput potkove. Računalom su analizirali kako je mozak pohranio sliku. Obrazac pohranjen u mozgu bio je zbroj slika koje su stvorile potkovu.

Tako su znanstvenici mogli stvoriti sliku onoga što mozak vizualizira. Računalo može dekodirati svaki obrazac svjetla na mreži 10 x 10 točaka pri fMRI očitavanju.



U budućnosti namjeravaju povećati broj piksela u mreži 10 x 10. Nadalje, oni tvrde da je taj proces univerzalan, to jest, svaka vizualna misao ili čak san mogu biti zabilježeni fMRI uređajem. Ako je to istina, moći ćemo, po prvi put u povijesti, snimiti slike koje sanjamo.

Naravno da naše misli i osobito naši snovi nikada nisu kristalno jasni i uvijek će postojati doza zamućenosti, ali sama činjenica da možemo pogledati duboko u vizualne misli nečijega mozga izaziva divljenje.



Čitanje misli pomoću EEG (lijevo) i fMRI (desno) uređaja. U budućnosti će te elektrode biti sićušne. Moći ćemo čitati misli i upravljati predmetima samim mišljenjem.

ETIČKI ASPEKT ČITANJA MISLI

Postavlja se problem što će se događati budemo li mogli rutinski čitati misli pojedinaca. To zabrinjava dobitnika Nobelove nagrade Davida Baltimorea, bivšega ravnatelja Caltecha (California Institute of Technology). On je napisao: "Smijemo li upasti u tuđe misli? … Ne mislim da se radi o čistoj znanstvenoj fantastici, ali to bi stvorilo pakao na zemlji. Zamislite udvaranje ili pregovaranje u slučaju kad bi vam se mogle čitati misli."

On pretpostavlja da će čitanje misli u većini slučajeva imati za posljedicu sramoćenje, ali ne i pogubne događaje. Napisao je: "Rečeno mi je da ćete, ako upadnete usred predavanja, uhvatiti velik broj studenata koji su se upustili u erotske maštarije."

Možda se čitanje misli neće pretvoriti u problem privatnosti, s obzirom na to da naše misli nisu pretjerano određene. Fotografiranje naših snova i maštarija moglo bi jednoga dana postati izvedivo, ali bismo mogli ostati razočarani kvalitetom slika. Davno sam čitao kratku priču o čovjeku kojemu je duh iz svijećnjaka kazao da će ostvariti svaku želju. On je odmah pomislio na skupe luksuzne predmete poput limuzina, milijuna dolara u gotovini i dvorac. Duh je sve to stvorio. Čovjek je bio neugodno iznenađen kad je vidio da limuzina nema kvake na vratima niti motor, da su lica na novčanicama mutna i je dvorac prazan. U žurbi da zamisli sve te ideje čovjek je zaboravio da te slike postoje u njegovoj mašti samo kao opće ideje.

Nadalje, nije izvjesno da bi se nečije misli mogle čitati iz daljine. Sve dosadašnje metode (EEG, fMRI i elektrode) zahtijevaju bliski kontakt s osobom.

Ipak, mogli bi se izglasati zakoni o ograničenju neovlaštenoga čitanja misli. Također bi se mogli pojaviti uređaji koji bi štitili naše misli blokadom ili ometanjem naših električnih signala.

Istinsko čitanje misli još je uvijek desetljećima udaljeno od nas. Ali i u najskromnijem slučaju, fMRI uređaj može služiti kao detektor laži. Laganje aktivira više središta u mozgu negoli govorenje istine. Laganje podrazumijeva da znadete istinu, ali da mislite na laž i na bezbroj posljedica koje ona povlači, što zahtijeva mnogo više energije nego kad govorite istinu. Prema tome, fMRI uređaj bi mogao odrediti prekomjerno trošenje energije. Trenutno znanstvena zajednica ima neke rezerve prema odobravanju fMRI uređaja kao detektora laži, osobito u sudskim slučajevima. Sama je tehnologija još previše svježa da bi mogla pružiti metodu za bezrezervno dokazivanje laganja. Daljnja istraživanja će izoštriti njenu preciznost. Kako bilo da bilo, ova tehnologija nas više neće napuštati.

Već postoje dvije tvrtke koje nude fMRI detektore laži uz tvrdnju da imaju 90 posto uspješnosti. Sud u Indiji je već pribjegao fMRI uređaju pri rješavanju slučaja, a u tijeku je nekolicina sličnih slučajeva u SAD-u.

Uobičajeni detektori laži ne mjere laži. Oni mjere znakove napetosti poput pojačanog znojenja (mjeri se analiziranjem električne vodljivosti kože) i ubrzano bilo. Čitači mozga mjere povećanje cerebralne aktivnosti, ali povezanost laganja i povećane cerebralne aktivnosti još uvijek nije definitivno dokazana da bi mogla vrijediti i na sudu.

Moglo bi potrajati godinama da se pažljivim testiranjima ispitaju granice i preciznost fMRI detektora laži. U međuvremenu je Fondacija MacArthur dala 10 milijuna dolara za projekt Law and Neuroscience, koji pokušava ustanoviti kako će neuroznanost utjecati na pravo i zakonodavstvo.

MOJ VLASTITI fMRI UREĐAJ

Imao sam prigodu isprobati fMRI uređaj na sebi. Prigodom snimanja dokumentarca za BBC/ Discovery Channel, otišao sam na Sveučilište Duke. Ondje su me smjestili na pokretni krevet i umetnuli ga u divovski metalni valjak. Upalili su ogromni, snažni magnet (20 000 puta snažniji od Zemljinog magnetskoga polja), a atomi u mome mozgu poravnali su se prema magnetskome polju poput zvrkova čije osi usmjeravaju u jednom smjeru. Tada je poslan radijski impuls u moj mozak koji je preokrenuo jezgre mojih atoma. Kad su se jezgre vratile na svoje mjesto, ispustile su lagani impuls ili "jeku" koju je fMRI uređaj zabilježio. Analizom tih jeka računalo je uspjelo obraditi te signale i sastaviti 3D mapu unutrašnjosti moga mozga.

Čitav je proces potpuno bezbolan i bezopasan. Radijacija koja je poslana u moje tijelo bila je neionizirajuća i nije mogla naštetiti mojim stanicama razbijanjem njihovih atoma. Čak i u magnetskom polju tisućama puta snažnijemu od Zemljinoga nisam mogao osjetiti ni najmanju promjenu u svome tijelu.

Podvrgnuo sam se fMRI očitavanju s ciljem da odredimo položaj pojedinih misli u mome mozgu. Primjerice, postoji u našem mozgu sićušni biološki "sat" – između očiju, iza nosa – koji izračunava sekunde i minute. Oštećenja toga dijela mozga uzrokuju poremećaj osjećaja vremena.

Kad sam bio unutar uređaja, kazali su mi da pokušam odbrojavati sekunde i minute. Kasnije,

kad su razvijeni fMRI prikazi, mogao sam jasno vidjeti kako svijetli točka između mojih očiju točno iza nosa dok sam ja odbrojavao sekunde. Tad sam shvatio da svjedočim nastanku potpuno novoga područja biologije – određivanje preciznih lokacija u mozgu povezanih s pojedinim mislima, svojevrsno čitanje misli.

TRIKODERI I PRIJENOSNI SKENERI MOZGA

U budućnosti MRI uređaji neće biti glomazni strojevi koje nalazimo u današnjim bolnicama i koji teže nekoliko tona i zauzimaju čitave prostorije. Štoviše, bit će maleni poput mobilnog telefona ili čak obične kovanice.

Bernhard Blümich i njegove kolege s Instituta za istraživanje polimera Max Planck u Mainzu došli su 1993. godine na potpuno novu zamisao da naprave sićušne uređaje za magnetsku rezonanciju. Napravili su uređaj nazvan MRI-MOUSE (mobilni univerzalni ispitivač površine), trenutno ne veći od tridesetak centimetara, a u budućnosti bismo mogli imati i MRI uređaje veličine šalice za kavu koji bi se slobodno prodavali u trgovinama. Mogla bi se dogoditi prava medicinska revolucija, budući da bismo mogli izvoditi magnetnu rezonanciju u privatnosti vlastitoga doma. Blümich predviđa budućnost – ne previše daleku – u kojoj bi bilo tko mogao sam koristiti osobni MRI-MOUSE uređaj tako da ga približi koži i očita tjelesne vrijednosti u bilo koje doba dana. Računala bi analizirala podatke i dijagnosticirala problem. "Možda nismo toliko daleko od uređaja poput trikordera u Zvjezdanim stazama", zaključio je Blümich.

(Uređaji za magnetnu rezonanciju rade po sličnome načelu kao igla u kompasu. Sjeverna strana igle se poravnava s magnetskim poljem. Kad se tijelo umetne u MRI uređaj, jezgre se atoma poput igle na kompasu poravnavaju s magnetskim poljem. Tad se šalje radijski impuls koji čini da se jezgre atoma prevrnu. Jezgre se ponovno poravnavaju i odašilju novi radijski impuls ili "jeku".)

Ključ funkcioniranja tih mini-MRI uređaja njihova su neujednačena magnetska polja. Razlog zašto su današnji uređaji za elektromagnetnu rezonanciju tako masivni jest taj da moramo imati dovoljno veliki prostor da umetnemo ljudsko tijelo u krajnje ujednačeno magnetsko polje. Što je veća ujednačenost polja, to je detaljniji prikaz koji danas razlaže osobitosti do veličine od jedne desetine milimetra. Ujednačenost magnetskoga polja postiže se umetanjem dvaju velikih žičanih svitaka, promjera otprilike 60 cm, postavljenih jedan pored drugoga. Naziv mu je Helmholtzov navoj i pruža ujednačeno magnetsko polje između dvaju navoja. Ljudsko se tijelo stavlja u os tih dvaju velikih magneta.

Ako se koristite neujednačenim magnetskim poljem, rezultat će biti iskrivljene i beskorisne slike. U tome je bio glavni problem uređaja za elektromagnetnu rezonanciju tijekom više desetljeća. Blümich je pronašao dosjetljiv način da ublaži distorziju. Slanje višestrukih radijskih impulsa u uzorku i potom detektiranje jeka koji iz toga rezultiraju. Računala analiziraju jeke i nadoknađuju distorziju koja je nastala korištenjem neujednačenoga magnetskoga polja.

Danas Blümichovi prijenosni MRI-MOUSE uređaji koriste malene magnete u obliku slova U koji imaju sjeverni i južni pol na vrhovima slova U. Magnet se stavlja iznad pacijenta i pomicanjem magneta možemo vidjeti nekoliko centimetara ispod kože. Za razliku od uobičajenih MRI uređaja koji koriste ogromne količine energije i koji imaju vlastite priključke za struju, MRI-MOUSE koristi istu količinu struje kao i obična električna žarulja.

U ranijim testiranjima Blümich je postavio MRI-MOUSE uređaj na gume koje su mekane poput ljudskoga tkiva. Izravna tržišna primjena moglo bi biti detektiranje defekata na

proizvodima. Uobičajeni MRI uređaji ne mogu se koristiti na predmetima koji sadrže metal, poput automobilskih guma pojačanih iznutra čelikom. MRI-MOUSE uređaji koriste slaba magnetska polja i nemaju takvih ograničenja. (Magnetska polja uobičajenih MRI uređaja su 20 000 puta snažnija od magnetskoga polja Zemlje. Velik broj medicinskoga osoblja je stradao dok su prilikom paljenja magnetskih polja poletjeli razni metalni predmeti prema njima. MRI-MOUSE nema takvih problema.)

Takva tehnologija može se pokazati vrlo korisnom za analizu predmeta koji sadrže metalne dijelove. Predmeti koji su preveliki da bi stali u uobičajene MRI uređaje i oni koji se ne mogu micati također mogu poslužiti za uporabu MRI-MOUSE uređaja. Uspješno se njime poslužilo prigodom analiziranja unutrašnjosti ledenoga čovjeka Ötzija čije je smrznuto tijelo pronađeno 1991. u Alpama. Pomicanjem magneta u obliku slova U preko njegova tijela uspjeli su oguliti različite slojeve na njegovom smrznutom tijelu.

U budućnosti će se MRI-MOUSE uređaji sve više smanjivati tako da ćemo imati uređaje veličine mobilnoga telefona. Tada očitavanje mozga i čitanje misli ne bi trebalo biti veliki problem. Kasnije bi MRI uređaj mogao biti tanak i jedva zamjetljiv poput kovanice. Možda će nalikovati EEG-u i njegovim plastičnim kapicama koje se spajaju na elektrode i stavljaju na glavu. (Kada budete stavili te prijenosne MRI uređaje na vrhove prstiju i potom ih stavite na nečiju glavu, bit ćete nalik na Vulkanca koji izvodi stapanje umova u Zvjezdanim stazama.)

TELEKINEZA I MOĆ BOGOVA

Krajnji je cilj toga razvoja da se postigne telekineza, snaga mitoloških bogova da pomiču predmete mislima.

U filmu Ratovi zvijezda, primjerice, postoji tajanstveno polje koje se naziva Sila i koje je posvuda u galaksiji i omogućuje mentalne moći Jedi vitezova koji mogu kontrolirati predmete mislima. Laserske sablje, laserske puške i čitavi svemirski brodovi mogu se pokretati pomoću energije Sile.

Nećemo ipak morati putovati u veoma udaljene galaksije da bismo crpili tu energiju. Do kraja stoljeća ćemo ulaziti u sobu i mislima upravljati računalom koji će kontrolirati stvari oko nas. Pomicanje teškoga namještaja, pospremanje uredskoga stola, obavljanje popravaka i slično, moglo bi postati izvedivo samim razmišljanjem o tome. Od velike bi koristi ova sposobnost bila za sve one koji obavljaju poslove za koje je potrebno više od dvije ruke, poput manualnih radnika, vatrogasaca, astronauta i vojnika. Mogla bi se promijeniti naša interakcija sa svijetom u cjelini. Moći ćemo voziti bicikl i automobil, igrati golf ili baseball ili složene igre samim razmišljanjem o njima.

Pomicanje predmeta moglo bi postati moguće korištenjem supravodiča koje ćemo objasniti u četvrtom poglavlju. Do kraja će stoljeća fizičari biti u stanju proizvesti supravodiče koji mogu djelovati na sobnoj temperaturi. To će omogućiti stvaranje velikih magnetskih polja koja zahtijevaju malo energije. Kao što je dvadeseto stoljeće bilo doba električne energije, budućnost bi nam mogla donijeti supravodiče koji funkcioniraju na sobnoj temperaturi i koji će nas uvesti u doba magnetizma.

Snažna magnetska polja trenutno su izuzetno skupa, ali mogla bi postati gotovo besplatna u budućnosti. Ona će smanjiti trenje vlakova i kamiona, izvesti revoluciju u transportu i ukloniti troškove u prijenosu električne energije. Također ćemo moći pomicati predmete mislima. Sićušni

će supermagneti biti smješteni unutar raznih predmeta, a mi ćemo ih moći pomicati uokolo do mile volje.

U skoroj ćemo budućnosti pretpostavljati da svaki predmet ima sićušan čip u sebi koji ga čini inteligentnim. U dalekoj ćemo budućnosti pretpostavljati da sve ima maleni supravodič u sebi koji izlijeva magnetnu energiju dostatnu da ga se prenosi po prostoriji. Pretpostavimo da stol ima ugrađeni supravodič. Obično supravodiči ne provode struju. Ako mu se doda malena električna struja, stvorit će snažno magnetsko polje koje će moći prenositi stol po prostoriji. Mislima ćemo moći aktivirati supramagnet umetnut u predmet i moći ćemo njime upravljati.

U seriji filmova X-men, zle mutante predvodi Magneto koji pomiče ogromne predmete upravljajući njihovim magnetnim svojstvima. U jednoj sceni filma on pomiče most Golden Gate snagom svoga uma. Postoje, međutim, granice te moći. Vrlo je teško pomicati predmete od plastike i papira koji nemaju magnetna svojstva. (Na kraju prvog dijela filma X-men, Magneto je zatvoren u zatvor napravljen u potpunosti od plastike.)

U budućnosti bi se supravodiči koji funkcioniraju na sobnoj temperaturi mogli smjestiti i u predmete koji nemaju magnetna svojstva. Oni će ih dobiti kad se uključi struja i moći će se pomicati vanjskim magnetskim poljem pod kontrolom naših umova.

Upravljat ćemo robotima i avatarima pomoću te tehnologije. Poput filmova Surogati i Avatar, imat ćemo kontrolu pokreta nad našim zamjenskim tijelima i čak osjećati bol i pritisak. To bi moglo biti vrlo korisno za astronaute koji moraju popravljati vanjske kvarove svemirskoga broda ili za spašavanje ljudi u hitnim situacijama. Jednoga će dana naši astronauti biti na sigurnome na Zemlji i upravljati nadljudskim robotskim tijelima koja će se kretati po Mjesecu. To ćemo detaljnije razmotriti u sljedećemu poglavlju.

Moramo istaknuti da služenje telekinezom nosi određene rizike. U filmu Zabranjeni planet drevna civilizacija, milijunima godina ispred nas, doseže krajnji san – sposobnost upravljanja svime pomoću uma. Primjer njihove tehnologije je uređaj koji može pretvoriti vaše misli u 3D prikaz. Stavite uređaj na glavu, zamislite nešto i 3D prikaz se stvori unutar uređaja. Premda je takav uređaj bio nezamisliv publici pedesetih godina, on će se pojaviti u jednom od narednih desetljeća. U filmu se pojavljuje uređaj koji se mentalnom energijom služi za podizanje teških predmeta. Mi pak nećemo morati čekati milijunima godina da vidimo tu tehnologiju – već je razvijena u obliku igračke. Stavite EEG elektrode na glavu, igračka detektira električne impulse vašega uma i podiže maleni predmet kao u filmu. U budućnosti će se mnoge igre igrati mislima. Momčadi će biti mentalno umrežene tako da će pomicati loptu mišljenjem, a momčad koja najbolje mentalno savlada igru bit će pobjednik.

Kraj filma Zabranjeni planet može nas malo zamisliti. Usprkos veličini njihove tehnologije, svi su propali, jer nisu uočili jedan nedostatak u svome planu. Uređaji su materijalizirali ne samo njihove svjesne ideje, nego i njihovu podsvijest. Divlje, davno potisnute misli njihove nasilne, drevne evolucijske prošlosti počele se su se materijalizirati. Uređaji su obistinili svaku podsvjesnu noćnu moru. Na pragu dostizanja njenog najvećega postignuća, tu je civilizaciju uništila njena vlastita tehnologija.

Za nas je to još uvijek daleka opasnost. Takav uređaj neće biti dostupan prije 22. stoljeća. Suočavamo se ipak s neposrednijim izazovom. Do kraja stoljeća pojavit će se roboti nalik na ljude. Što će se dogoditi ako postanu pametniji od nas?

2. BUDUĆNOST UMJETNE INTELIGENCIJE

Rođenje strojeva

Hoće li roboti naslijediti Zemlju? Da, ali će biti naša djeca.

— MARVIN MINSKY

Mitološki su bogovi mogli božanskom moći oživiti neživo. Prema Bibliji, u Knjizi Postanka, drugo poglavlje, Bog "napravi čovjeka od praha zemaljskog i u nosnice mu udahne dah života. Tako postane čovjek živa duša." U grčkoj i rimskoj mitologiji božica Venera je mogla učiniti da kipovi ožive. Kad se kipar Pigmalion beznadno zaljubio u jedan kip koji je izradio, Venera mu se smilovala, ispunila mu najveću želju i pretvorila kip u prekrasnu ženu, Galateju. Vulkan, kovač među bogovima, mogao je stvoriti vojsku mehaničkih metalnih robova.

Mi smo danas poput Vulkana dok kujemo u našim laboratorijima strojeve i udahnjujemo život u čelik i silicij. Hoćemo li, međutim, osloboditi ljudski rod ili pasti u sužanjstvo? Ukoliko čitamo naslovnice novina, čini se potpuno jasno: kontrolu nad ljudskim rodom preuzet će njegove vlastite tvorevine.

KRAJ LJUDSKOGA RODA?

Naslovnica novina New York Times britka je i jasna: "Znanstvenici se brinu da bi strojevi mogli postati pametniji nego ljudi." Vodeći svjetski znanstvenici na području umjetne inteligencije okupili su se 2009. na konferenciji u Asilomaru u Kaliforniji da u svečanome tonu rasprave što će se dogoditi kad strojevi konačno preuzmu prvenstvo. Poput scena u filmovima, delegati su postavljali smiona pitanja, poput: "Što se događa kad robot postane pametan poput vašeg bračnoga druga?"

Snažan dokaz o razvoju robotike bespilotna je letjelica Predator drone koja cilja terorističke ciljeve smrtonosnom preciznošću u Afganistanu i Pakistanu, zatim vozila koja upravljaju sama sobom, ASIMO; najnapredniji robot na svijetu koji hoda, trči, penje se stepenicama, pleše i poslužuje kavu.

Eric Horvitz iz Microsofta, jedan od organizatora konferencije, primijetivši uzbuđenje u dvorani kazao je sljedeće: "Tehnolozi pružaju gotovo religiozne vizije i njihove ideje odgovaraju ideji Uznesenja." (Uznesenje je pojam za uzdizanje vjernika u nebo pri drugome dolasku Krista. Kritičari su opisali konferenciju u Asilomaru kao "uznesenje šmokljana".)

Istoga ljeta pojavili su se filmovi koji su naočigled pojačavali takvu apokaliptičku viziju. U filmu Terminator: Spasenje neorganizirana skupina ljudi bori se protiv mehaničkih čudovišta koja su preuzela Zemlju. U Transformeri: Osveta poraženih roboti iz svemira koriste ljude kao pijune, a Zemlju kao bojno polje za svoje međuzvjezdane ratove. U filmu Surogati ljudi su odlučili živjeti svoje živote kao savršeni, prelijepi, nadljudski roboti radije nego da dožive vlastito starenje i propadanje tijela.

Sudeći prema naslovnicama novina i kino natpisima, čini se da otkucavaju zadnje sekunde čovječanstvu. Svi znanstvenici svečano pitaju: hoćemo li jednoga dana plesati iza rešetaka dok nam naše tvorevine, roboti, budu bacali kikiriki kao što mi danas bacamo medvjedima? Ili ćemo postati kućni ljubimci našim stvorenjima?

Nakon pobližeg razmatranja, ipak mnogo toga ostaje mnogo manje jasno. Mnoga su postignuća obilježila posljednje desetljeće, ali potrebno je postaviti stvari u kontekst.

Predator, smrtonosna bespilotna letjelica duga osam metara, koja ispaljuje rakete na teroriste, upravljana je ljudskom rukom pomoću igraće palice. Ljudsko biće, najvjerojatnije veteran video igara, sjedi udobno ispred računalnoga ekrana i izabire ciljeve. Čovjek – ne Predator – odlučuje kad će ispaljivati rakete. Vozila koja se sama kreću ne donose vlastite odluke čitajući okolinu, nego slijede GPS kartu pohranjenu u njihovoj memoriji. Tako da je noćna mora s potpuno autonomnim, svjesnim i ubilačkim robotima još uvijek udaljena daleko od nas.

Premda su mediji napuhali neke od senzacionalističkih izjava koje su se mogle čuti na konferenciji u Asilomaru, nije čudno da je većina znanstvenika koja zaista radi na svakodnevnim istraživanjima o umjetnoj inteligenciji bila suzdržanija i opreznija. Na pitanje kad će strojevi postati pametni poput nas, znanstvenici su ponudili začuđujući spektar odgovora, počevši od 20 pa sve do 1000 godina.

Prema tome moramo razlikovati dvije vrste robota. Prvu vrstu čovjek kontrolira daljinskim naredbama i programirana je poput bilo kojeg uređaja koji funkcionira na upute. Takvi roboti već postoje i pune naslovnice novina i vijesti. Polako ulaze u naše domove i na svjetska bojna polja. Bez ljudskoga donošenja odluka, oni su međutim običan otpad. Druga vrsta robota je u potpunosti autonomna, obdarena vlastitim razmišljanjem i nije izravno upravljana ljudskim čimbenikom. Ova vrsta robota već pola stoljeća izmiče znanstvenicima iz ruku.

ROBOT ASIMO

Stručnjaci za umjetnu inteligenciju ističu Hondinoga robota ASIMO (Advanced Step in Innovative Mobility) kao slikovit primjer revolucionarnoga napretka koji je postignut u robotici. Visok je 1,30 m, teži 54 kg, nalik je dječaku koji nosi kacigu s crnim staklom i naprtnjaču na leđima. ASIMO može realistično hodati, trčati, penjati se stepenicama i govoriti. Kreće se prostorijama, skuplja prazne čaše, reagira na jednostavne naredbe, a čak i prepoznaje neka lica. Ima bogat rječnik i može razgovarati na različitim jezicima. ASIMO je rezultat dvadesetogodišnjega rada znanstvenika iz Honde koji su proizveli pravo čudo.

U dvije različite prigode imao sam privilegiju da osobno upoznam ASIMO-a, dok sam pripremao znanstvene dokumentarne filmove za BBC/Discovery. Kad sam se rukovao s njim, odgovorio je na posve ljudski način. Kad sam mu mahnuo, smjesta mi je mahnuo natrag. Kad sam mu rekao da mi donese soka, okrenuo se i odšetao do stola s osvježavajućim pićima sa začudno ljudskim kretnjama. ASIMO je uistinu toliko realističan da sam, dok je govorio, pomislio da će

podići kacigu i pokazati se dječak skriven u njemu. On čak mnogo bolje pleše od mene.

Na prvi pogled se čini da je ASIMO inteligentan, sposoban reagirati na ljudske naredbe, voditi razgovor i hodati po prostoriji. U stvarnosti stvari stoje drugačije. Kad sam se susreo s ASIMO-m u prisutnosti televizijskih kamera, svaki pokret i svaka nijansa bili su pažljivo dogovoreni. Trebalo je sve skupa tri sata da snimimo scenu od pet minuta s ASIMO-m. Grupa stručnih programera panično je reprogramirala robota nakon svake snimljene scene. Premda ASIMO govori na različitim jezicima, zapravo se radi o kazetofonu koji pušta snimljene poruke. Vrlo jednostavno oponaša poput papige ono što su ljudi programirali. Premda ASIMO postaje sve sofisticiraniji iz godine u godinu, on nije sposoban za neovisno mišljenje. Svaka riječ, svaki pokret, svaki korak pažljivo je uvježban sa stručnim trenerima i programerima.

Nakon emisije imao sam iskren razgovor s jednim od izumitelja ASIMO-a. On mi je priznao da, usprkos začudno ljudskim pokretima, ASIMO ima inteligenciju insekta. Većina njegovih pokreta mora biti pažljivo programirana unaprijed. Može hodati poput ljudi, ali njegov put mora biti pažljivo programiran, inače bi se zabio u namještaj, budući da ne može zaista prepoznavati predmete u prostoriji.

Za usporedbu, čak i žohari prepoznaju predmete, zaobilaze prepreke, traže hranu i partnere, izbjegavaju grabežljivce, smišljaju složene putove za bijeg, skrivaju se u sjeni, nestaju u pukotinama u trenutku.

Thomas Dean sa Sveučilišta Brown, stručnjak za umjetnu inteligenciju, priznao je da su glomazni roboti koje on konstruira “na stupnju razvoja da mogu hodati prostorijom bez da ostavljaju ogrebotine po zidovima i podu”. Kasnije ćemo vidjeti da današnja najsnažnija računala jedva uspijevaju oponašati neurone miševa, a i tada samo na nekoliko sekundi. Potrebna su desetljeća napornoga rada da računala postanu pametna poput miša, zeca, psa ili mačke i, napokon, majmuna.

POVIJEST UMJETNE INTELIGENCIJE

Kritičari ponekad ističu obrazac prema kojemu svakih 30 godina stručnjaci za umjetnu inteligenciju tvrde da su super-inteligentni roboti na pomolu. Tada se događa susret sa stvarnošću koji pomiče tvrdnje nekoliko koraka unazad.

1950-ih, kad su uvedena elektronička računala nakon Drugoga svjetskoga rata, znanstvenici su opčinjavali javnost raspravama o strojevima koji mogu izvoditi čudesa: podizati blokove, igrati šah i rješavati algebarske probleme. Činilo se da je dolazak sasvim pametnih strojeva na pomolu. Javnost je bila oduševljena. Uskoro su se pojavili članci u novinama koji su bez predaha predviđali vrijeme u kojemu će se roboti nalaziti u svačijem stanu. Stručnjak za umjetnu inteligenciju Herbert Simon 1965. godine je izjavio da će strojevi kroz dvadeset godina biti sposobni obavljati sve poslove koje čovjek može obaviti. Tad se dogodio susret sa stvarnošću. Šahovska računala nisu mogla pobijediti ljudske stručnjake, a mogla su samo igrati šah i ništa drugo. Rani su roboti bili poput mađioničara koji može izvesti samo jedan jednostavni trik.

U stvarnosti je velik napredak postignut 1950-ih, ali se pretjerano napuhivao i uzdizao. Uslijedio je korak unazad. Zbog rastućeg kritičkoga glasa 1974. vlade Ujedinjenog Kraljevstva i SAD-a srezale su financiranje istraživanja. Uslijedila je prva zima za umjetnu inteligenciju.

Paul Abrahams danas se sa sjetom sjeća onih dana 1950-ih dok je bio diplomski student na

MIT-ju i kad se sve činilo mogućim. Prisjeća se da je to bilo kao da je skupina ljudi odlučila sagraditi toranj do Mjeseca. Svake godine ponosno ističu koliko je toranj viši negoli prošle godine. Problem je jedino što Mjesec time nije ništa bliže.

Entuzijazam oko umjetne inteligencije ponovno se probudio 1980-ih. Pentagon je uložio milijune dolara u razvoj projekata poput pametnoga izviđačkoga kamiona koji je trebao putovati iza neprijateljskih linija, spasiti trupe i vratiti se u stožer. Japanska je vlada pokrenula ambiciozni Projekt pete generacije računalnih sustava. Financiralo ga je snažno Ministarstvo međunarodne trgovine i industrije Japana. Cilj Projekta pete generacije računala bio je, među ostalima, razviti računalni sustav koji može razgovarati na razgovornom jeziku, imati sposobnosti razumskoga razmišljanja i čak anticipirati naše želje. I sve to do 1990-ih godina.

Nažalost, pametni kamion se uspio samo izgubiti. Projekt pete generacije je nakon velike pompe potiho napušten bez objašnjenja. Još jednom su riječi tekle mnogo brže od samoga napretka. U stvarnosti je postignut značajan napredak 1980-ih, ali se opet preuveličao, i stoga je nastupio drugi korak unazad koji je stvorio drugu zimu u istraživanju umjetne inteligencije. Za njenoga trajanja financiranje se smanjilo i razočarani ljudi su masovno napustili područje. Postalo je bolno jasno da nešto nedostaje.

Znanstvenici su 1992. imali pomiješane emocije prigodom svečane priredbe u čast filma 2001: Odiseja u svemiru u kojemu računalo HAL 9000 poludi i poubija članove posade svemirskoga broda. Film, snimljen 1968., predvidio je da ćemo do 1992. imati robote koji će moći razgovarati s bilo kojim čovjekom o bilo kojoj temi i upravljati svemirskim brodom. Nažalost, pokazalo se da i najnapredniji roboti imaju poteškoća s dosizanjem inteligencije kukaca.

IBM-ovo Deep Blue računalo je 1997. postiglo povijesni uspjeh kad je pobijedilo svjetskoga šahovskoga prvaka Garya Kasparova. Deep Blue je bilo čudo tehnologije koje je moglo izvoditi 11 milijardi operacija u sekundi. Umjesto da otvori brane istraživanja na području umjetne inteligencije i najavi novo razdoblje, učinilo je upravo suprotno. Naglasilo je primitivnost istraživanja na području umjetne inteligencije. Nakon malo razmišljanja bilo je svima jasno da Deep Blue ne može misliti. Ono je bilo nadmoćno u šahu, ali bi postiglo 0 bodova na testu inteligencije. Nakon pobjede gubitnik je održao konferenciju za novinare, budući da Deep Blue ne može govoriti. Stručnjaci su nevoljko prihvatili da puka računalna snaga nije jednaka inteligenciji. Richar Heckler kaže: “Danas možete kupiti šahovske računalne programe za 49 dolara koji će pobijediti sve ljude osim svjetskih prvaka. Ipak, nitko ne misli da su ti programi inteligentni.”

Mooreov zakon, koji izbacuje novu generaciju računala svakih 18 mjeseci, učinit će prije ili kasnije da se nadiđe pesimizam starijih generacija i da preuzmu mlađe generacije koje će stvoriti obnovljeni entuzijazam i energiju u uspavanom području istraživanja. Trideset godina nakon posljednje zime, istraživači ponovno pružaju predviđanja o budućnosti puna nade. Krajnje je vrijeme za umjetnu inteligenciju, kažu njeni podupiratelji. Ovoga puta zapravo. Treći pokušaj ima i sretan predznak. Međutim, ako su oni u pravu, hoće li ljudi postati nepotrebni?

JE LI MOZAK DIGITALNO RAČUNALO?

Matematičari danas shvaćaju da je temeljni problem u tome da su napravili ključnu pogrešku misleći da je mozak nalik velikom digitalnom računalu. Danas je posve jasno da tome nije tako. Mozak nema čip Pentium, nema operacijski sustav Windows, nema aplikacijsku programsku podršku, nema mikroprocesor, nema programiranja, nema funkcija koje su tipične za moderna digitalna računala. Struktura digitalnih računala je poprilično drugačija od strukture mozga.

Mozak je neka vrsta stroja za učenje, skup neurona koji se neprestano prespajaju svaki puta kad nauče nešto novo. (Osobno računalo zapravo uopće ne uči. Vaše je računalo jednako glupo danas kao i jučer.)

Postoje barem dva pristupa modeliranju mozga. Tradicionalni pristup "odozgo nadolje" postupa s robotima kao s digitalnim računalima i programira sve odredbe inteligencije od najjednostavnijih početaka. Digitalno se računalo može svesti na Turingov stroj, hipotetski uređaj čiji je pojam uveo veliki britanski matematičar Alan Turing. Turingov stroj sastoji se od tri osnovne komponente: ulazne informacije, središnjeg procesora koji obrađuje ovu informaciju i izlazne informacije. Sva digitalna računala temelje se na tom jednostavnom modelu. Cilj je tog pristupa napraviti CD na kojemu su pohranjene sve odredbe inteligencije. Njegovim umetanjem računalo odjednom postaje inteligentno. Tako da taj mitski CD sadrži svu programsku podršku potrebnu za stvaranje inteligentnoga stroja.

Naš mozak nema programske podrške. Naš je mozak poput neuronske mreže, složena nakupina neurona koja se neprestano prespaja.

Neuronske mreže djeluju prema Hebbovom pravilu: svaki puta kad je donesena ispravna odluka, neuronski putovi bivaju pojačani. Svaki put kad uspješno izvrši zadatak, promijeni snagu određenih električnih spojeva između neurona. (Hebbovo se pravilo može izraziti starim pitanjem: "Kako glazbenik dospijeva u Carnegie Hall?" Odgovor: "Vježbom, vježbom i samo vježbom." Za neuronske mreže vrijedi isto pravilo, vježba čini savršenim. Hebbovo pravilo objašnjava zašto se tako teško riješiti loših navika, s obzirom na to da su neuronski putovi loših navika dobro utabani.)

Neuronske veze zasnivaju se na pristupu "odozdo nagore" . Umjesto da se umeću odredbe inteligencije u stroj, neuronske mreže je uče na način kako djeca uče, susretanjem s predmetima i učenjem iskustvom. Uče na starinski način kao u "školi života".

Neuronske mreže imaju posve drugačiju strukturu od digitalnih računala. Ako uklonite jedan jedini tranzistor u središnjem procesoru računala, ono neće funkcionirati. Ako uklonite veliki komad ljudskoga mozga, on će i dalje funkcionirati jer drugi dijelovi preuzimaju funkcije dijela koji nedostaje. Moguće je točno odrediti gdje digitalni mozak "misli" – u središnjem procesoru. Snimke mozga pokazuju da se mišljenje javlja u različitim dijelovima mozga. Različiti sektori pale se u različitim sekvencama kao da se misli odbijaju poput loptice za stolni tenis.

Digitalna računala mogu računati gotovo brzinom svjetlosti. Ljudski mozak je nevjerojatno spor. Nervni impulsi putuju začudno sporom brzinom od 320 km h1. Mozak to nadoknađuje nevjerojatnom povezanošću i istovremenim funkcioniranjem više od 100 milijardi neurona od kojih svaki preuzima na sebe malen dio računanja. Svaki je neuron povezan s 10 000 drugih neurona. U utrci bi nevjerojatno brzi procesor bio ostavljen u prašini od strane nevjerojatno sporog paralelnoga procesora. (To nas podsjeća na staru zagonetku: ako jednoj mački treba jedna minuta da pojede miša, koliko minuta treba milijunu mačaka da pojedu milijun miševa? Odgovor je jedna minuta.)

Tomu još pridodajmo da mozak nije digitalan. Tranzistori su vrata koja mogu biti ili otvorena ili zatvorena, predstavljena nulom ili jedinicom. Neuroni su također digitalni (mogu biti uključeni ili isključeni), ali mogu biti i analogni šaljući neprestane signale različite snage.

DVA PROBLEMA S ROBOTIMA

Kad se uzmu u obzir ograničenja računala u usporedbi s ljudskim mozgom, možemo nedvosmisleno ocijeniti zašto računala nisu u stanju ostvariti dva ključna zadatka koje ljudi obavljaju bez truda: prepoznavanje obrazaca i zdrav razum. Ova dva problema ostala su bez rješenja već pola stoljeća. Ona su glavni problem zašto nemamo robote za poslugu i tajnice.

Prvi je problem prepoznavanje obrazaca. Roboti vide znatno bolje od ljudi, ali ne mogu razumjeti ono što vide. Kad robot uđe u sobu, on pretvori prizor u hrpu točkica. Obradom tih točaka on prepoznaje linije, kružnice, kvadrate i pravokutnike. Tad robot pokušava prepoznati jedan po jedan predmet uspoređujući ih s predmetima u svojoj memoriji – nevjerojatno mučan zadatak čak i za računalo. Nakon mnogo sati provedenih u računanju robot će prepoznati stolice, stolove i ljude. Za razliku od njega mi prepoznajemo predmete u trenutku kad ih vidimo. Naši su mozgovi zapravo strojevi za prepoznavanje obrazaca.

Drugi je problem što roboti nemaju zdrav razum. Iako roboti mogu čuti mnogo bolje od ljudi, ne razumiju ono što čuju. Uzmimo sljedeće primjere:

- Djeca vole slatkiše, ali ne i kazne.
- Konop služi za vuču, ali ne i za guranje.
- Štapovi mogu gurati, ali ne i povlačiti.
- Životinje ne mogu govoriti i ne razumiju engleski.
- Vrtnja izaziva vrtoglavicu u ljudi.

Za nas su sve te tvrdnje jednostavno zdrav razum, ali ne i za robota. Ne postoji način programiranja koji bi dokazao da konop može vući, ali ne i gurati. Mi smo naučili istinitost tih "očevidnih" tvrdnji iskustvom, a ne zato što je to bilo programirano u našoj memoriji.

Problem je s pristupom odozgo nadolje da je jednostavno previše nizova koda za zdravi razum potrebno da bi se oponašalo ljudski um. Stotine milijuna nizova koda potrebne su da se opišu zakoni zdravoga razuma koje posjeduje šestogodišnje dijete. Hans Moravec, bivši ravnatelj laboratorija za umjetnu inteligenciju na Sveučilištu Carnegie Mellon, jadikuje: "Do dana današnjega umjetna inteligencija ne pokazuje ni naznake zdravoga razuma. Program za medicinsku dijagnozu mogao bi prepisati antibiotik ako mu se pruži pokvareni bicikl, jer mu nedostaje model pojma čovjeka, bolesti ili bicikla."

Neki znanstvenici naginju mišljenju da je jedina prepreka ovladavanju zdravim razumom sirova snaga. Oni smatraju da bi novi Manhattan Project, poput onoga koji je omogućio atomsku bombu, zasigurno razriješio problem sa zdravim razumom. Taj program razrješavanja problema "enciklopedije misli" naziva se CYC, a pokrenut je 1984. godine. On je trebao biti krajnjim dosegom na području umjetne inteligencije, projekt kodiranja svih tajni zdravoga razuma u jednome programu. Nakon nekoliko desetljeća napornoga rada, CYC projekt nije dorastao svojim ciljevima.

Cilj CYC-a je posve jednostavan: savladati "sto milijuna stvari, koliko obična osoba zna o

svijetu 2007." Taj rok i mnogi drugi prekoračeni su bez ikakvoga uspjeha. Svi zadani rokovi koje su inženjeri na CYC-ju postavili, dolazili su i odlazili bez da su znanstvenici iole bliže savladavanju suštine inteligencije.

ČOVJEK PROTIV STROJA

Jednom sam imao prigodu odmjeriti mentalne snage s robotom izrađenim na MIT-ju u skupini Tomasa Poggija. Premda roboti ne mogu prepoznavati jednostavne obrasce, Poggio je uspio stvoriti računalni program koji može izračunati svaki bit poput čovjeka u specifičnom području: "neposredno prepoznavanje". To je naša začudna sposobnost trenutnoga prepoznavanja predmeta čak i prije negoli postanemo svjesni. (Neposredno prepoznavanje je važno za našu evoluciju, budući da su naši preci imali djelić sekunde da utvrde vreba li tigar iz grmlja čak i prije negoli su toga svjesni.) Po prvi je put robot dosljedno postizao bolje rezultate nego ljudi na specifičnome testu vizualnoga prepoznavanja.

Sraz između mene i robota bio je jednostavan. Prvo sam sjeo na stolicu ispred običnoga računalnoga ekrana. Tada je na ekranu slika prikazana u djeliću sekunde, a ja sam trebao pritisnuti jednu od dvaju tipaka što je brže moguće ako bih vidio sliku neke životinje. Morao sam donijet odluku što brže moguće, čak i prije nego što sam mogao shvatiti sliku. Računalo je također donosilo iste odluke.

Na moju sramotu, nakon mnogo brzopoteznih testova, računalo i ja smo postigli gotovo jednake rezultate. Ponekad je računalo postiglo zamjetno bolje rezultate nego ja, ostavljajući me daleko iza sebe. Pobijedilo me računalo. (Jedinom utjehom mi je bilo kad mi je rečeno da računalo postiže 82 posto točnih odgovora, a čovjek 80 posto u prosjeku.)

Ključ je Poggijova računala bilo kopiranje lekcija koje nam daje majka priroda. Mnogi znanstvenici uviđaju istinu u tvrdnji: "Kotač je već bio izumljen, zašto ga ne kopirati?" Kad običan robot ugleda neku sliku, pokušava je podijeliti u nizove pravaca, kružnica, kvadrata i drugih geometrijskih oblika. Međutim, Poggijov je program drugačiji.

Kad ugledamo neku sliku, ugledat ćemo glavne linije različitih predmeta, tad vidimo različite osobitosti, pojedinih predmeta, zatim različite nijanse unutar tih osobitosti, itd. Tako mi dijelimo sliku na više slojeva. Čim računalo obradi jedan sloj slike, spaja ga s drugim slojem i tako dalje. Na taj način, korak po korak, sloj po sloj, oponaša hijerarhijsku metodu kojom naš mozak obrađuje sliku. (Poggijov program ne može izvesti sve procese prepoznavanja obrazaca koje mi uzimamo zdravo za gotovo, kao što je vizualizacija predmeta u tri dimenzije, prepoznavanje tisuću različitih predmeta iz raznih uglova, itd. Međutim, on predstavlja ključan trenutak u razvoju prepoznavanju obrazaca.)

Kasnije sam imao prigodu vidjeti pristup odozgo nadolje i odozdo nagore u akciji. Prvo sam otišao na Sveučilište Stanford, u njihovo središte za umjetnu inteligenciju gdje sam upoznao STAIR (Stanford artificial intelligence robot), koji koristi pristup odozgo nadolje. Visok je 1,20 cm, služi se mehaničkom rukom koju može okretati u svim smjerovima i uzimati predmete. STAIR se kreće posvuda po uredu ili stanu, a ima i 3D kameru koja se zaustavi na predmetu i pruža 3D sliku računalu koje upravlja mehaničkom rukom kojom dohvaća predmete. Roboti su uzimali predmete na isti način još od 1960-ih, a nalazimo ih u tvornicama automobila u Detroitu.

Privid zna varati. STAIR može i mnogo više. Za razliku od robota iz Detroita, STAIR nema propisani obrazac ponašanja. Upravlja sam sobom. Ako ga zamolite da vam donese naranču,

analizirat će skupinu predmeta na stolu, usporediti ih s tisućama slika spremljenih u svojoj memoriji i potom identificirati naranču i pokupiti je. Može identificirati izbliza predmete na način da ih pokupi i okreće u ruci ne bi li pobliže identificirao o kojem se predmetu radi.

Da bih testirao njegovu sposobnost, pomiješao sam skupinu predmeta na stolu i onda gledao što se događa kad zamolim da mi donese neki predmet. Vidio sam da je STAIR ispravno analizirao novi raspored na stolu i donio traženi predmet. Cilj je da STAIR obilazi po kući ili uredu, sakuplja razne predmete i oruđa i razgovara s ljudima na pojednostavljenom jeziku. Moći će obavljati sve što i tipični potrčko. STAIR je tipičan primjer pristupa odozgo nadolje – sve je od početka uneseno u STAIR. (Iako STAIR prepoznaje predmete iz različitih uglova, ograničen je po pitanju predmeta koje može prepoznati. Bio bi izgubljen kad bi morao izaći van i prepoznavati nasumične predmete.)

Kasnije sam imao prigodu otići na Sveučilište New York gdje Yann LeCun eksperimentira s potpuno novim dizajnom – LAGR (learning applied to ground robots, učenje primijenjeno na zemaljske robote). LAGR je primjer pristupa odozdo nagore. Mora sve naučiti od samih osnova i to udaranjem u predmete. Veličine je malenoga vozila za golf i ima dvije kamere koje snimaju krajolik koje identificiraju predmete na putu. Kreće se između predmeta, pažljivo ih obilazeći i uči sa svakim novim prolazom. Opremljen je GPS-om i dvama infracrvenim senzorima koji detektiraju predmete ispred njega. Sadrži tri snažna Pentium čipa i spojen je na gigabitnu ethernet mrežu. Otišli smo u obližnji park gdje je LAGR prolazio i obilazio mnoge prepreke na putu. Svakoga puta kad je iznova prolazio, postajao je sve bolji u zaobilaženju prepreka.

Glavna je razlika između LAGR-a i STAIR-a u tome što je LAGR posebno dizajniran za učenje. Svaki puta kad LAGR udari u neki predmet, zaobiđe predmet i nauči ga zaobići sljedeći put. Dok STAIR ima tisuće slika spremljenih u memoriji, LAGR ima tek nekolicinu slika u svojoj memoriji, ali umjesto toga stvara mentalnu mapu svih prepreka na koje je naišao i neprestano poboljšava mapu svakim prolazom. Za razliku od vozila bez vozača koje je programirano unaprijed i slijedi rutu zadanu GPS-om, LAGR se kreće sam od sebe bez ljudskih uputa. Kad mu kažete kamo da krene, on vas posluša. Takvi bi se roboti mogli naći na Marsu, na bojnim poljima i u našim domovima.

Bio sam zadivljen entuzijazmom i energijom koju su pokazivali ti istraživači. U svojim srcima oni vjeruju da postavljaju temelje umjetnoj inteligenciji i da će njihov rad utjecati na naše društvo na način koji tek počinjemo shvaćati. Iz udaljenosti, ipak mogu vidjeti koliki ih put tek očekuje. Čak i žohari mogu identificirati predmete i obilaziti ih. Još smo uvijek na stupnju na kojemu najniža bića majke prirode mogu nadmudriti naše najinteligentnije robote.

SKORA BUDUĆNOST (OD SADAŠNJOSTI DO 2030.)

EKSPERTNI SUSTAVI

Danas mnogi ljudi u svojim domovima imaju jednostavne robote koji usisavaju njihove tepihe. Postoje i noćni patrolni čuvari zgrada, roboti vodiči i roboti radnici u tvornici. U 2006. godini procijenjeno je da postoji 950 000 industrijskih robota i 3 540 000 uslužnih robota koji rade u domovima i zgradama. U nadolazećim desetljećima područje robotike moglo bi procvasti u nekoliko smjerova. No roboti neće izgledati poput onih iz znanstvene fantastike.

Najveći bi se utjecaj mogao osjetiti u ekspertnim sustavima, programskoj podršci u koju su

kodirani mudrost i iskustvo ljudskoga bića. Kao što ćemo vidjeti u zadnjemu poglavlju, jednoga ćemo dana na internetu razgovarati s robotom liječnikom ili odvjetnikom.

Ovo polje istraživanja naziva se heuristika i slijedi formalni sustav utemeljen na pravilima. Kad budemo planirali godišnji odmor, razgovarat ćemo sa zidnim ekranom koji će nam pružiti neke izbore za ljetovanje: udaljenost, destinaciju, hotele i cijene. Ekspertni sustavi unaprijed će znati naše sklonosti iz prijašnjih izbora te će kontaktirati hotele, zrakoplovne kompanije i slično te nam dati najbolje opcije. Nećemo s njime razgovarati kolokvijalnim, brbljavim stilom, već ćemo koristiti formalni, stilizirani jezik koji on razumije. Takav sustav može brzo obaviti velik broj korisnih zadataka. Na naredbu priprema rezervaciju u restoranu, pronalazi trgovine, naručuje namirnice i kućnu dostavu, rezervira zrakoplovnu kartu i tako dalje.

Zahvaljujući pronalascima na području heuristike u posljednjim desetljećima mi danas imamo neke prilično jednostavne pretraživače. Ipak, još su uvijek nerazvijeni. Svima je jasno da se radi o stroju, a ne o čovjeku. U budućnosti će roboti postati toliko sofisticirani da će postati gotovo kao ljudi, funkcionirajući neprestano na nijansiran i sofisticiran način.

Najpraktičnija primjena bit će vjerojatno u medicini. Danas, ako ste bolesni, morate čekati po nekoliko sati prije nego što vas liječnik primi. U budućnosti ćete jednostavno moći otići do zidnog ekrana i razgovarati sa svojim robotom-liječnikom. Moći ćete mu oblikovati lice i karakter prema vlastitim željama. Prijateljsko lice s ekrana postavit će vam nekoliko jednostavnih pitanja: “Kako se osjećate? Gdje vas boli? Kada je bol počela? Koliko često vas boli?”

Svaki put ćemo odabrati između nekoliko jednostavnih odgovora. Odgovarat ćemo glasom, a ne tipkanjem na tipkovnici.

Svaki od vaših odgovora otvorit će novu skupinu pitanja. Nakon niza takvih pitanja, robot-liječnik moći će vam dati dijagnozu temeljenu na najboljem iskustvu liječnika diljem svijeta. Robot-liječnik će analizirati i podatke iz vaše kupaonice, s vaše odjeće, vašeg namještaja, koji su neprestano nadgledali vaše zdravlje pomoću DNA-čipova. Moći će vas zamoliti da napravite pregled vlastitoga tijela prijenosnim MRI uređajem čije će rezultate analizirati super-računalo. (Postoje već neke primitivne inačice takvih heurističkih programa kao što je WebMD, ali nedostaje im iznijansiranost i puna snaga heuristike.)

Većina posjeta liječniku mogla bi se ukloniti na taj način i olakšati ogroman pritisak na naš medicinski sustav. Ako je problem ozbiljan, robot-liječnik će vas uputiti ljudskome liječniku u bolnicu. I tamo ćete nailaziti na umjetnu inteligenciju u obliku robota medicinskih sestara poput ASIMO-a. Ti roboti medicinske sestre nisu zaista inteligentni, ali se mogu kretati po sobama pacijenata i donositi ispravne lijekove pacijentima i saslušati njihove potrebe. Mogu se pomicati po tračnicama na podu ili se kretati nezavisno poput ASIMO-a.

Takav robot postoji u bolnicama poput Medicinskog centra UCLA koji posjeduje mobilnog robota RP-6. Riječ je o ekranu koji je postavljen na mobilno računalo koje se kreće na kotačima. Na ekranu vidite lice liječnika koji je možda udaljen nekoliko kilometara od vas. Postoji kamera na robotu koja omogućuje liječniku da vidi ono što robot vidi. Ujedno služi i kao mikrofon tako da liječnik može razgovarati s pacijentom. Liječnik daljinski upravlja robotom pomoću igraće palice, razgovara s pacijentom, nadzire distribuciju lijekova i tako dalje. Budući da se godišnje primi na intenzivnu njegu pet milijuna pacijenata u SAD-u, a samo je 6000 liječnika kvalificirano za postupanje s kritičnim pacijentima, roboti poput toga pomoći će da se olakša trenutna kriza u hitnoj njezi. U budućnosti će takvi roboti postajati sve nezavisniji i bit će sposobni za autonomno kretanje i interakciju s pacijentima.

Japan je jedan od svjetskih lidera u ovoj tehnologiji. Japan troši velike količine novca na robote kako bi olakšao nadolazeću krizu u liječničkoj njezi. Kad razmotrimo pozadinu, ne iznenađuje da je Japan jedna od vodećih država na području robotike iz više razloga. Kao prvo, u šintoističkoj religiji neživa bića posjeduju duh. Čak i mehanička. Na zapadu djeca vrište u strahu pred robotima, posebno nakon gledanja toliko filmova o podivljalim ubilačkim strojevima. Japanska djeca naprotiv vide robote kao blage duhove koji su spremni na igru i pomoć. U Japanu nije čudno vidjeti robota činovnika recepcije koji vas pozdravlja kad uđete u trgovinu. Trideset posto svih komercijalnih robota na svijetu nalazi se u Japanu.

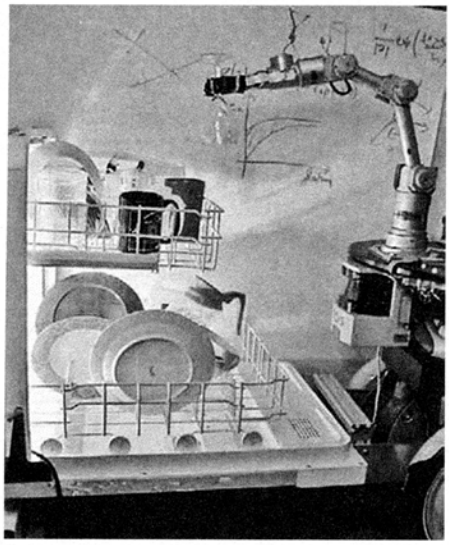
Kao drugo, Japan doživljava demografsku katastrofu. Japan ima populaciju koja najbrže stari. Prosjek nataliteta je pao na 1,2 po obitelji, a imigracija je zanemariva. Neki su demografi rekli da gledamo željezničku nesreću u usporenom prikazu: jedan demografski vlak (stareća populacija i opadajući natalitet) uskoro će se sudariti s drugim (nizak postotak imigracije) u nadolazećim godinama. (Takva bi se željeznička nesreća mogla dogoditi i u Europi.) Najviše će se osjetiti na području medicinske njege, gdje bi ASIMO medicinske sestre mogle biti korisne. Roboti poput ASIMO-a idealni su za bolničke zadaće poput pronalaženja lijekova, pružanja njege i nadgledanja pacijenata 24 sata na dan.

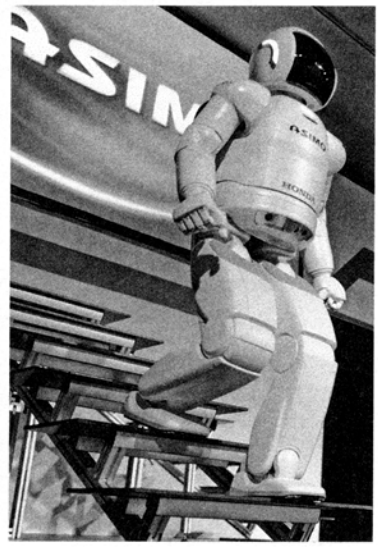
SREDINA STOLJEĆA (OD 2030. DO 2070.)

MODULARNI ROBOTI

Do sredine stoljeća naš bi svijet mogao biti prepun robota koje mi možda nećemo ni zamjećivati. Zato što mnogi roboti neće imati ljudski oblik. Mogli bi biti skriveni u obličjima zmija, insekata i pauka i izvršavati nezahvalne, ali ključne zadaće. To su modularni roboti koji mijenjaju obličje ovisno o zadatku.

Imao sam prigodu upoznati jednoga od glavnih inovatora na području modularnih robota, Weimina Shena sa Sveučilišta u Južnoj Kaliforniji. Njegova je zamisao napraviti malene kockaste module koji se mogu preslagivati kao lego kockice. Naziva ih polimorfnim robotima budući da mogu mijenjati geometrijski oblik i funkciju. U njegovom sam laboratoriju mogao na licu mjesta vidjeti razliku između njegova pristupa i pristupa znanstvenika sa Stanforda i MIT-ja. Na prvi su pogled oba laboratorija izgledala kao dječje igralište iz snova gdje se na svakom koraku nalaze roboti koji govore. Kad sam posjetio laboratorije za umjetnu inteligenciju na Stanfordu i MIT-ju, vidio sam raznolike “igračke” s ugrađenim čipovima i inteligencijom. Radni stolovi bili su puni robotskih zrakoplova, helikoptera, kamiona, zatim robota nalik na insekte, i svi su se oni kretali autonomno. Svaki je robot samodostatna jedinica.





Različite vrste robota: LAGR (na vrhu), STAIR (dolje lijevo) i ASIMO (dolje desno). Usprkos ogromnome napretku računalne snage, ti roboti imaju inteligenciju
insekta.

Međutim, kad uđete u laboratorij na Sveučilištu u Južnoj Kaliforniji, vidjet ćete nešto posve drugačije. Ugledat ćete kockaste module veličine 125 cm3 koji se spajaju i odvajaju i na taj način omogućuju stvaranje raznolikih stvorova nalik životinjama. Možete složiti zmiju koja gmiže. Ili velike kolute koji se okreću. Nadalje, možete zavrnuti te kocke ili ih spojiti spajalicama u obliku slova Y tako da možete stvoriti čitav niz uređaja nalik na hobotnice, pauke, mačke ili pse. Zamislite lego kockice s inteligencijom, koje se mogu presložiti na sve zamislive načine.

To će biti korisno za prelaženje prepreka. Kad bi robot u obličju pauka ušao u kanalizaciju i naišao na zid, najprije bi pronašao sićušnu rupu u zidu i zatim se rastavio na dijelove. Svaki bi dio prošao kroz rupu i na drugoj se strani ponovno složio u obličje pauka. Modularni roboti bili bi nezaustavljivi i mogli bi se nositi sa svim vrstama prepreka.

Takvi bi modularni roboti mogli biti ključni za popravak naše infrastrukture koja se raspada.

Most na rijeci Mississippi u Minneapolisu srušio se 2007. i ubio 13 ljudi, a ozlijedio 145. Zbog starosti, preopterećenosti i konstrukcijskih mana konstrukcija nije izdržala. Postoje na stotine nesreća koje samo čekaju da se dogode, ali jednostavno previše košta nadgledanje svakog zastarjeloga mosta i njegovo popravljanje. Ovdje bi modularni roboti bili korisni, jer bi mogli kontrolirati naše mostove, ceste, tunele, cijevi i elektrane i obaviti popravke prema potrebi (Mostovi koji vode na donji dio Manhattana pretrpjeli su veliku štetu od korozije, zanemarivanja i izostanka popravaka i održavanja. Jedan je radnik pronašao bocu Coca Cole iz 1950., kad je most posljednji puta bio obojan. Dio Mosta Manhattan bio je nedavno nadomak urušavanju te je bio zatvoren na neko vrijeme zbog radova.)

ROBOTI KIRURZI I KUHARI

Roboti će se moći koristiti kao kirurzi, kuhari ili glazbenici. Primjerice, jedno je od većih ograničenja u kirurgiji spretnost i preciznost ljudske ruke. Kirurzi, kao i svi ljudi, postaju umorni nakon nekoliko sati i njihova se djelotvornost smanjuje. Prsti im se počnu tresti. Roboti mogu riješiti taj problem.

Uobičajena operacija umetanja srčane premosnice podrazumijeva otvaranje 30 cm duge rupe na prsima pacijenta, a to zahtijeva opću anesteziju. Otvaranje prsnoga koša povećava rizik infekcije i vrijeme potrebno za oporavak, stvara intenzivnu bol i neugodnost u razdoblju oporavka i ostavlja veliki ožiljak. Robot nazvan da Vinci može razriješiti sve te probleme. On ima četiri mehaničke ruke, jednu kojom rukuje kamerom i tri kojima izvršava preciznu operaciju. Umjesto da radi velik zarez na prsima, radi nekoliko manjih rezova na stranama tijela. Postoji 800 bolnica u Europi, Sjevernoj i Južnoj Americi koje koriste taj sustav. Samo 2006. bilo je izvedeno 48 000 operacija na taj način. Operacije se mogu obavljati i s udaljenosti preko interneta tako da svjetski priznati kirurg može operirati pacijenta koji je u nekom zabačenom kraju države ili čak na drugom kontinentu. U budućnosti će poboljšane inačice moći izvoditi mikroskopske operacije na krvnim žilama, živčanom i mišićnom tkivu pomoću mikroskopskih skalpela, pinceta i igala, a sve je to danas nemoguće. U budućnosti će kirurg rijetko i zarezati kožu pri operaciji. Neinvazivna kirurgija će postati norma.

Endoskopi (duge cijevi koje se umeću u tijelo, a mogu osvjetljivati i rezati tkivo) bit će tanji od niti konca. Mikrostrojevi manji od točke na kraju ove rečenice obavljat će veliki dio mehaničkoga posla. (U jednoj epizodi izvornih Zvjezdanih staza, doktor McCoy je bio izvan sebe kad je čuo da su liječnici u dvadesetom stoljeću morali rezati kožu.) Dan kada će to biti stvarnost uskoro dolazi.

Studenti medicine mogli bi u budućnosti učiti rezati na 3D virtualnim prikazima ljudskoga tijela, a svaki pokret ruke oponašao bi robot u obližnjoj prostoriji.

Japanci su se istaknuli u razvijanju robota koji mogu komunicirati s ljudima. U Nagoyi postoji robot kuhar koji može napraviti standardno fast food jelo u nekoliko minuta. Jednostavno unesete ono što biste htjeli iz menija i robot kuhar priredi jelo pred vašim očima. Izrađen u tvrtci industrijskih robota Aisei, on može prirediti japanske rezance za 1:40 minuta i poslužuje 80 zdjelica dnevno. Robot kuhar vrlo je nalik robotima na pokretnoj traci u automobilskoj industriji Detroita. Ima dvije velike mehaničke ruke koje su programirane da se kreću po točno određenom slijedu. Umjesto zavrtanja i varenja metala kojim se bave u automobilskim tvornicama, njegovi prsti uzimaju namirnice iz različitih zdjelica koje sadrže smjesu za salatu, meso, brašno, umake i začine. Ruke ih miješaju i slažu u sendviče, salate ili juhe. Kuhar Aisei izgleda više kao kuhinjski uređaj, ali se pripremaju i modeli koji će biti više nalik na čovjeka.

Toyota je proizvela robota koji može svirati violinu gotovo kao svaki profesionalac. Nalik je na ASIMO-a, može uzeti violinu, njihati se u ritmu glazbe i potom odsvirati složena violinska djela. Zvuk je nevjerojatno realističan, a robot može raditi pokrete poput pravih glazbenika. Premda glazba još uvijek nije na razini koncertnih majstora, dovoljno je kvalitetna da zabavi publiku. U prošlome smo stoljeću imali mehaničke glasovire koji su izvodili djela upisana na velike rotirajuće diskove. Poput tih mehaničkih glasovira i Toyotin je uređaj programiran. Razlika je u tome da je Toyotin uređaj programiran da oponaša sve položaje i pokrete stvarnoga violinista na najvjerniji mogući način.

Na Sveučilištu Waseda u Japanu znanstvenici su izradili robota sposobnog da svira flautu. Posjeduje prazne odjeljke u prsima nalik na pluća koji pušu zrak u pravu flautu. Može izvoditi vrlo složene melodije poput Bumbarova leta. Takvi roboti ne mogu skladati novu glazbu, ali se mogu natjecati s ljudima u sposobnosti njenog izvođenja.

Robot kuhar i robot glazbenik pažljivo su programirani. Premda su oni mnogo napredniji od starinskih mehaničkih glasovira, još uvijek funkcioniraju po istome načelu. Pravi su roboti-posluga još uvijek daleka budućnost. Nasljednici tih robota bi se mogli, ipak, jednoga dana pojaviti u našim životima i preuzeti temeljna djelovanja za koja smo nekoć mislili da su isključivo ljudska sposobnost.

EMOCIONALNI ROBOTI

Do sredine stoljeća mogli bismo doživjeti procvat emocionalnosti u robota.

U prošlosti su pisci maštali o robotima koji čeznu da postanu ljudi i imaju emocije. U Pinokiju je drveni lutak poželio postati dječak. U Čarobnjaku iz Oza Limeni je čeznuo za srcem. U Zvjezdanim stazama: Nova generacija, android Data pokušava savladati emocije pričajući šale i pokušavajući shvatiti zbog čega se ljudi smiju. U znanstvenoj fantastici pojavljuje se vječna tema da će roboti postajati sve inteligentniji, ali da će im suština emocionalnoga života uvijek biti nejasna. Roboti će možda jednoga dana postati pametniji od nas, kažu pisci znanstvene fantastike, ali nikada neće moći plakati.

Zapravo to ne mora biti istina. Znanstvenici počinju razumijevati pravu narav emocija. Kao prvo, emocije nam kazuju što je dobro za nas, a što štetno. Većina stvari na svijetu je ili štetna ili nije pretjerano korisna. Kad osjetimo emociju "sviđanja", učimo odrediti neznatan dio među stvarima u okolišu koje su nam korisne.

U suštini, svaka se od emocija (mržnja, ljubomora, strah, ljubav, itd.) razvila kroz milijune godina kako bi nas zaštitila od neprijateljskoga svijeta i pomogla nam da se reproduciramo. Svaka emocija pomaže da se prenesu naši geni na sljedeću generaciju.

Ključnu ulogu emocija u našoj evoluciji istaknuo je neurolog Antonio Damasio sa Sveučilišta u Južnoj Kaliforniji. On je analizirao žrtve moždanih ozljeda ili bolesti. Među nekim je od tih pacijenata veza između mislećega dijela mozga (cerebralni korteks) i emocionalnoga središta (smještenoga duboko u središtu mozga poput amigdale) bila prekinuta. Ti su ljudi posve normalni osim što imaju poteškoće u izražavanju emocija.

Jedan problem je odmah očit, ne mogu birati. Kupovina postaje noćna mora, budući da im sve ima istu vrijednost, bilo da je skupo ili jeftino, sirovo ili sofisticirano. Dogovoriti sastanak postaje nemoguće, jer se svaki trenutak u budućnosti čini jednakim bilo kojem drugome. Izgleda

kao da ti pacijenti “znaju, ali ne osjećaju”.

Jedna od glavnih funkcija emocija je da nam daju vrijednosti da možemo odrediti što nam je važno, što je skupo, što je lijepo i što je dragocjeno. Bez emocija sve ima istu vrijednost i tako postajemo paralizirani u beskrajnom odlučivanju u kojemu svaka odluka ima jednaku težinu. Znanstvenici počinju shvaćati da su emocije daleko od toga da budu luksuz, već da su nužne za inteligenciju.

Dok gledate Zvjezdane staze i vidite Spocka i Datu kako obavljaju svoje poslove navodno bez emocija, odmah možete vidjeti propust te ideje. Na svakome koraku, naime, Spock i Data pokazuju emocije, jer donose cijeli niz vrijednosnih sudova. Oni su odlučili da je biti časnikom važno, da je ključno obaviti neke zadatke, da je cilj Federacije plemenit, da je ljudski život dragocjen, itd. Iluzija je da može postojati časnik bez emocija.

Emocionalni roboti mogli bi biti pitanje života i smrti. U budućnosti bi znanstvenici mogli stvoriti robote spasioce koji se šalju u požare, potrese, eksplozije, itd. Morat će napraviti tisuće vrijednosnih odabira koga spasiti i kojim redoslijedom. Nadgledajući uništavanja koje se odvijaju oko njih, morat će rangirati slijed zadataka po prioritetima izvršenja.

Emocije su suštinski važne u evoluciji ljudskoga mozga. Analiziramo li glavne anatomske osobine mozga, vidjet ćemo da se mogu grupirati u tri velike kategorije.

Prvo imamo reptilski mozak koji se nalazi blizu temelja lubanje, a koji imaju reptili. Primitivne životne funkcije poput ravnoteže, agresije, teritorijalnosti, traženje hrane itd. kontrolira taj dio mozga. (Kad gledate u zmiju koja gleda u vas, ponekad vas prožme osjećaj jeze i pitate se o čemu razmišlja zmija. Ako je ova teorija točna, ona ne razmišlja o mnogo čemu osim o tome jeste li njen ručak ili niste.)

Kod viših organizama primjećujemo da se mozak razvio prema prednjem dijelu lubanje. Sljedeća razina je mozak majmuna s limbičkim sustavom u središtu mozga. Tu se nalaze dijelovi poput amigdale koja se bavi obradom emocija. Životinje koje žive u grupama imaju nevjerojatno razvijene limbičke sustave. Društvene životinje koje love u skupinama moraju imati visoku razinu mentalne aktivnosti kojom shvaćaju pravila igre. Budući da uspjeh u divljini ovisi o suradnji s drugima, a nemaju sposobnost govora, te životinje prenose svoje emocionalno stanje pomoću govora tijela, cviljenjem, režanjem i gestama.

Na kraju smo dobili prednji i vanjski moždani sloj, cerebralni korteks, sloj koji određuje ljudsko u nama i upravlja racionalnom mišlju. Dok su druge životinje vođene instinktima i genetikom, ljudi se služe cerebralnim korteksom da razumski promisle o stvarima.

Ako je takav evolucijski slijed ispravan, emocije će igrati ključnu ulogu u stvaranju autonomnih robota. Dosad su bili proizvedeni roboti koji oponašaju samo reptilski mozak. Emocije su potrebne da bi se životinja socijalizirala i da bi savladala pravila igre. Znanstvenici imaju dug put pred sobom u shvaćanju limbičkoga sustava i cerebralnoga korteksa.

Cynthia Breazeal s MIT-ja napravila je robota zamišljenoga da se suoči s tim problemom. Robot se zove KISMET i lice mu sliči na nestašnoga vilenjaka. Na prvi se pogled čini živim, jer pokretima lica odgovara na vaš govor. KISMET može kopirati široku paletu emocija mijenjajući izraz lica. Žene koje su imale prilike razgovarati s KISMET-om koriste često dječji jezik koji koriste s djecom. Premda je KISMET osmišljen da oponaša emocije, znanstvenici nemaju iluzije da roboti zaista osjećaju emocije. Radi se o uređaju koji je programiran da izrazima lica iskazuje

emocije bez da je stvarno svjestan tih emocija. Napredak KISMET-a sastoji se u tome što nije potrebno mnogo programiranja da se napravi robot koji će oponašati ljudske emocije na koje će ljudi reagirati.

Emocionalni roboti će uskoro dospjeti i u naše domove. Neće biti naša posluga ili tajnice, ali će biti u stanju izvoditi postupke utemeljene na pravilima heuristike. Do sredine stoljeća možda će imati inteligenciju mačke ili psa. Poput ljubimca pokazivat će emocionalnu vezu prema vlasniku tako da ih se neće moći lako otpisati. Nećete moći razgovarati s njima na govornom jeziku, ali će razumijevati programirane naredbe, možda i na stotine njih. Ako im kažete da učine nešto što još nije spremljeno u njihovoj memoriji (poput "odlepršaj"), pogledat će vas znatiželjno i zbunjeno. (Ako do sredine stoljeća pseći i mačji roboti budu mogli oponašati cijeli niz životinjskih reakcija, tad će se postaviti pitanje jesu li ti roboti jednako inteligentni i imaju li iste osjećaje kao mačka i pas.)

Sony je eksperimentirao s takvim emocionalnim robotom kad je proizveo psa AIBO (artificial intelligence robot). Bila je to prva igračka koja je realistično reagirala svome vlasniku. Kad biste ga mazili po leđima, počeo bi puštati glas kojim izražava ugodu. Sposoban je hodati, reagirati na glasovne naredbe, a može i učiti do neke razine. AIBO ne može naučiti nove emocije i emocionalne reakcije (Projekt je prekinut 2005. iz financijskih razloga, ali je pridobio vjerne pristalice koje nadograđuju programsku podršku tako da AIBO može vršiti više zadataka.) U budućnosti će roboti ljubimci za koje se djeca emotivno vežu postati uobičajena stvar.

Premda će ti roboti imati nepregledne nizove emocija i razviti međusobnu privrženost prema djeci, oni neće i stvarno osjećati te emocije.

REINŽENJERING MOZGA

Do sredine stoljeća prijeći ćemo još jednu veliku točku napretka u povijesti umjetne inteligencije – reinženjering ljudskoga mozga. Znanstvenici su frustrirani što nisu uspjeli proizvesti robota napravljenog od silicija i čelika. Sad pokušavaju obrnuti pristup: rastavljaju ljudski mozak, neuron po neuron – poput mehaničara koji rastavlja motor vijak po vijak – i pokreću simulaciju tih neurona na velikome računalu. Znanstvenici sustavno pokušavaju simulirati pokretanje neurona u životinja počevši s miševima, mačkama i penjući se dalje na evolucijskoj ljestvici. Cilj je dobro definiran i mogao bi biti dosegnut do sredine stoljeća.

Fred Hapgood s MIT-ja piše da bi otkriće kako mozak funkcionira – kako točno djeluje, kao što znamo kako motor djeluje – tražilo da se ponovno napišu sve knjige u knjižnicama.

Prvi korak prema reinženjeringu mozga jest razumijevanje njegove temeljne strukture. I taj jednostavan zadatak bio je mukotrpan i dug proces. Povijesno su se dijelovi mozga identificirali na autopsiji bez razumijevanja njihove funkcije. To se postupno počelo mijenjati kad su znanstvenici počeli vršiti ispitivanja na ljudima koji imaju ozljede mozga. Primijetili su da ozljede određenih dijelova mozga donose promjenu u ponašanju pacijenta. Žrtve kapi pokazivale su osobite promjene ponašanja koje su se dovodile u vezu s oštećenim dijelovima mozga.

Najčudesniji primjer zbio se u Vermontu 1848., kad je metalna šipka od jednoga metra probila lubanju željezničkoga nadzornika pod imenom Phineas Gage. Ova se povijesna nesreća dogodila kad je dinamit slučajno eksplodirao. Šipka je ušla s donje strane njegova lica, smrskala mu vilicu, prošla kroz mozak i probila lubanju s gornje strane glave. Čudom je preživio strašnu nesreću, premda mu je frontalni dio mozga bio potpuno uništen. Liječnik koji ga je liječio nije

mogao vjerovati da netko može preživjeti takvu nesreću. Bio je u napola svjesnom stanju nekoliko tjedana, ali se kasnije čudesno oporavio. Živio je još 12 godina radeći sitne poslove i putujući, a umro je 1860. Liječnici su pažljivo sačuvali njegovu lubanju i šipku, a obje su intenzivno proučavane. Moderne tehnike koje koriste računalnu tomografiju uspjele su rekonstruirati pojedinosti te neobične nesreće.

Taj je slučaj zauvijek promijenio prevladavajuća mišljenja o problemu odnosa između uma i tijela. Prije se vjerovalo čak i u znanstvenoj zajednici da su duša i tijelo odvojeni entiteti. Ljudi su učeno pisali o nekoj "životnoj sili" koja oživljuje tijelo, a koja je neovisna od mozga. Proširile su se informacije da je Gageova osobnost pretrpjela osjetne promjene nakon nesreće. Neki tvrde da je Gage bio omiljen i otvoren čovjek prije nesreće, a da je nakon nje postao nasilan i neprijateljski raspoložen. Utjecaj takvih izvješća je ojačao ideju da pojedini dijelovi uma kontroliraju različita ponašanja, a odatle slijedi da su um i tijelo nerazdvojivi.

Wilder Penfield je napravio drugi veliki napredak 1930-ih, primijetivši da se pomiču pojedini dijelovi tijela kad se dotaknu izvjesni dijelovi mozga prigodom obavljanja operacije na mozgu jedne žrtve epilepsije. Doticanje ovoga ili onoga dijela korteksa prouzrokovalo je da se pomaknu ruka ili noga. Razvio je grubu skicu onih područja korteksa koja kontroliraju pojedine dijelove tijela. Napravila se skica mozga koja je popisala koji dio mozga upravlja kojim organom. Rezultat je bio lik maloga čovječuljka, tj. čudna slika ljudskoga tijela zacrtanoga na površini mozga koji je bio nalik na malenoga čovjeka s velikim jagodicama prstiju, usnama i jezikom, a malenim tijelom.

Nedavno su nam MRI prikazi razotkrili ljudski mozak, ali nisu bili u stanju detektirati neuronske putove misli, jer one vjerojatno uključuju tek nekoliko tisuća neurona. Posebno polje optogenetike koje spaja optiku i genetiku pokušava razmrsiti i utvrditi specifične neuronske putove kod životinja. Da bismo bolje razumjeli o čemu se radi, možemo to usporediti sa stvaranjem zemljovida državnih putova. Rezultati elektromagnetske rezonancije dostajali bi da se utvrde veliki međudržavni autoputovi i veliki tok prometa na njima.

To je bilo uzrokom nekolicine senzacionalističkih izvješća u medijima. Drudge Report je donio vrišteću naslovnicu: "Znanstvenici stvorili muhe na daljinsko upravljanje". Mediji su stvorili priču o daljinski upravljanim muhama koje izvršavaju prljave poslove za Pentagon. U televizijskoj emisiji Tonight Show, voditelj Jay Leno pričao je o mušici na daljinsko upravljanje koja može uletjeti u usta predsjednika George W. Busha. I premda su komičari imali svoj dan izmišljajući bizarne scenarije o Pentagonu i upravljanju jatima insekata, stvarnost je bila mnogo skromnija.

Muhe imaju otprilike 150 000 neurona u mozgu. Optogenetika dopušta znanstvenicima da osvijetle neke neurone u njihovom mozgu koji odgovaraju nekim ponašanjima. Kad se upale dva specifična neurona, to može mušici dati signal za bijeg. Muha automatski ispruži noge, raširi krila i poleti. Znanstvenici su genetski razvili vrstu mušica kojima se neuroni upale svaki put kad se upali laserska zraka. Ako biste obasjali laserskom zrakom te mušice, one bi svaki put odletjele.

Implikacije za utvrđivanje strukture mozga od velike su važnosti. Moći ćemo polako odstraniti neuronske tokove za neka ponašanja i time uvelike pomoći žrtvama kapi i pacijentima koji pate od različitih moždanih oboljenja.

Gero Miesenböck sa Sveučilišta Oxford i njegove kolege uspjeli su identificirati neuronske mehanizme kod životinja. Analizirali su putove refleksa bijega kod vinskih mušica i reflekse povezane s različitim mirisima. Proučavali su i traženje hrane kod oblića kao proces koji prolazi kroz neuronske putove. Proučavali su neurone koji utječu na donošenje odluka kod miševa. Otkrili

su da su samo dva neurona odgovorna za ponašanje vinskih mušica, a gotovo se 300 neurona aktivira kod miševa.

Osnovna oruđa kojima su se koristili jesu geni koji kontroliraju proizvodnju određenih bojila i molekula koje reagiraju na svjetlo. Meduza, primjerice, ima gen koji proteine osvjetljava fluorescentno zelenom bojom. Nadalje, postoji mnogo molekula poput rodopsina koje reagiraju kad ih osvijetlimo, tako što puste ione da prođu kroz njihove stanične membrane. Osvjetljivanje nekih organizama potiče određene kemijske reakcije. Bojila i kemikalije osjetljive na svjetlost omogućuju znanstvenicima da ocrtaju neuronske tokove koji upravljaju određenim ponašanjima.

Premda komičari vole zbijati šale o znanstvenicima koji pokušavaju stvoriti vinske mušice Frankensteine koje će biti upravljane na pritisak tipke, istina je da znanstvenici ocrtavaju specifične neuronske tokove u mozgu koji kontroliraju specifična ponašanja.

MODELIRANJE MOZGA

Optogenetika je prvi, skromni korak. Sljedeći je korak oblikovati cjeloviti mozak koristeći najnoviju tehnologiju. Postoji barem nekoliko načina da se riješi taj divovski problem i za to će biti potrebno nekoliko desetljeća napornoga rada. Prvi je način da se koriste super-računala za stimuliranje ponašanja milijardi neurona od kojih je svaki povezan s tisućama drugih neurona. Drugi je način da se locira svaki neuron u mozgu.

Ključ prvoga pristupa, tj. stimuliranja mozga je jednostavan – sirova računalna snaga. Što je veće računalo, to je bolje. Sirova snaga i nimalo elegantne teorije mogle bi biti ključne za savladavanje toga divovskoga problema. Računalo koje bi moglo odraditi taj herkulovski zadatak zove se Blue Gene i jedno je od najsnažnijih računala na svijetu, proizvedeno u IBM-u.

Imao sam prigodu posjetiti i vidjeti to čudovišno računalo kad sam išao u posjetu Nacionalnom laboratoriju Lawrence Livermore u Kaliforniji gdje se proizvode vodikove bojne glave za Pentagon. To je glavni tajni laboratorij u SAD-u na površini od 80 000 m2 usred seoskoga područja, a godišnji mu proračun iznosi 1,2 milijarde dolara i zapošljava 6 800 zaposlenika. To je središte nuklearnog vojnoga sustava SAD-a. Morao sam proći više sigurnosnih provjera, jer se radi o jednome od najosjetljivijih laboratorija oružja na svijetu.

Nakon prolaza više sigurnosnih jedinica, ušao sam u zgradu u kojoj se čuva IBM-ovo Blue Gene računalo koje je u stanju računati brzinom od 500 bilijuna operacija u sekundi. Vidjeti Blue Gene zaista je čudesno. Zauzima površinu od otprilike 25 m2 i sastoji se od nizova crnih čeličnih odjeljaka veličine otprilike 2,5 m u visinu i 4,5 m u širinu. Bilo je zaista uzbudljivo hodati između tih odjeljaka. Za razliku od znanstvenofantastičnih filmova u kojima računala proizvode mnogo svjetlosnih efekata, u kojima se vide diskovi i električne zrake koji prolaze vodičima, u tim se odjeljcima vidi nekolicina svjetlosnih signala u potpunoj tišini. Možete razumjeti da računalo ostvaruje bilijune složenih operacija, ali ne možete ništa čuti niti vidjeti.

Moj je dolazak bio ponukan činjenicom da Blue Gene simulira misleći proces mišjega mozga koji ima otprilike dva milijuna neurona (za razliku od naših sto milijardi neurona). Simuliranje mislećega procesa mišjega mozga teže je nego što mislite, zato što je svaki neuron povezan s mnogim neuronima i čini gustu mrežu. Dok sam prolazio kroz odjeljke koji čine Blue Gene, nisam se mogao oteti dojmu čuda kad sam pomislio da to začudno snažno računalo može jedva na nekoliko trenutaka simulirati mozak miša. (To ne znači da Blue Gene može simulirati mišje ponašanje. Zasada znanstvenici mogu oponašati tek ponašanje žohara. To znači da Blue Gene

može simulirati paljenje neurona kod miša, a ne i njegovo ponašanje.)

Nekoliko se radnih skupina posvetilo simuliranju mišjega mozga. Na École Polytechnique Fédérale u Lausanni u Švicarskoj, Henry Markram je pokrenuo Blue Brain Project. Počeo je 2005. godine kad je uspio napraviti manju inačicu računala Blue Gene, od 16 000 procesora, i u roku jedne godine uspio modelirati kortikalnu kolumnu štakora koja je dio neokorteksa koji sadrži 10 000 neurona i sto milijuna sinaptičkih veza. To je istraživanje bilo veliki događaj, jer je pokazalo da je biološki moguće potpuno analizirati strukturu važnoga dijela mozga, i to neuron po neuron. (Mišji se mozak sastoji od milijuna takvih kolumni koje se ponavljaju iznova i iznova. Njihovim modeliranjem možemo početi razumijevati kako funkcionira mozak miša.)

Markram je 2009. optimistično rekao: "Nije nemoguće izgraditi ljudski mozak i mi ćemo to napraviti kroz deset godina. Ako ga ispravno sagradimo, moći će govoriti, raspolagati inteligencijom i ljudskim ponašanjem." Poziva na oprez, međutim, objašnjavajući da nam je potrebno super-računalo 20 000 puta snažnije od današnjega najsnažnijega super-računala i da mu je potrebna memorija za pohranu podataka 500 puta veća od veličine današnjega interneta.

Što, dakle, priječi postizanje cilja? Što se njega tiče, radi se isključivo o novcu.

Budući da je temeljno znanje ispravno, on smatra da je dovoljno ubacivati što više novaca za rješavanje problema. Prema njemu: "Nije pitanje godina, nego dolara… Pitanje je želi li društvo to. Ako žele za deset godina, imat će za deset godina. Ako žele za tisuću, možemo čekati."

Skupina konkurenata uhvatila se u koštac s istim problemom. Sastavili su najsnažniju računalnu silu u povijesti. Ova skupina koristi najnapredniju inačicu računala Blue Gene, koja se naziva Dawn i smještena je u Livermoru. Dawn je uistinu čudo tehnike. Ima 147 456 procesora s 150 000 gigabajta memorije. Otprilike je 100 000 puta snažniji od računala za vašim uredskim stolom. Ova skupina, koju predvodi Dharmendra Modha, postigla je čitav niz uspjeha. Godine 2006. uspjeli su simulirati 40 posto mišjega mozga, a 2007. su uspjeli u potpunom oponašanju (100 posto) mozga štakora (koji sadrži 55 milijuna neurona, mnogo više negoli mišji).

Skupina je oborila još jedan svjetski rekord 2009. godine. Uspjeli su, naime, simulirati 1 posto ljudske moždane kore iliti otprilike veličinu vrijednosti moždane kore mačke koja sadrži 1,6 milijardi neurona s 9 bilijuna sinaptičkih veza. Simulacija je, međutim, bila spora, otprilike šestoti dio brzine ljudskoga mozga. (Kad je simulirala samo milijardu neurona, išlo je mnogo brže i postizali su 83. dio brzine ljudskoga mozga.)

"To je Hubble teleskop našega uma, linearni akcelerator mozga", kazuje Modha ponosno, ističući kolosalnost toga dostignuća. Budući da mozak ima sto milijardi neurona, znanstvenici napokon vide svjetlo na kraju tunela. Osjećaju da je cjelokupna simulacija ljudskoga mozga na horizontu. "To nije samo moguće. To je neizbježno. To će se dogoditi", kaže Modha.

Veliki su problemi za modeliranje ljudskoga mozga energija i pregrijavanje. Računalo Dawn proždire milijun vata energije i stvara toliko topline da je potrebno 6675 tona opreme za hlađenje koja puše 75 000 m3 hladnoga zraka svake minute. Da bismo modelirali ljudski mozak, morali bismo pomnožiti to s brojem tisuću.

Radi se o uistinu monumentalnom zadatku. Potrošnja energije toga hipotetskoga super-računala iznosila bi milijardu vata energije ili ukupnu proizvodnju jedne nuklearne elektrane. Mogli biste opskrbiti energijom jedan grad. Da biste ga hladili, trebali biste skrenuti tok jedne rijeke i provesti joj korito kroz računalo. Samo računalo zauzelo bi nekoliko gradskih blokova.

Ljudski mozak za razliku od toga koristi samo 20 vati energije. Toplina koju proizvodi ljudski mozak jedva je zamjetna, a on bez problema nadmaši rezultate najjačih super-računala. Ljudski je mozak najsloženiji predmet koji je majka priroda proizvela u ovoj galaksiji. Budući da nemamo dokaza za druge inteligentne oblike života u našem sunčevom sustavu, to znači da moramo otići barem 40 trilijuna kilometara dalje – udaljenost najbliže zvijezde – da bismo možda uspjeli naći predmet složeniji od onoga koji sjedi u vašem mozgu.

Bit ćemo u stanju provesti reinženjering mozga u roku od deset godina samo u slučaju ako se pokrene ogromni projekt nalik na Manhattan Project u koji ćemo uliti milijarde dolara. To se, međutim, neće dogoditi uskoro, s obzirom na trenutačnu ekonomsku klimu. Strateški programi poput Human Genome Project, koji je koštao oko tri milijarde dolara, bili su podržani od strane Vlade SAD-a, jer su imali očite koristi za zdravstvo i znanost. Reinženjering ljudskoga mozga nema izravne koristi i zbog toga će se dogoditi znatno kasnije. Morat ćemo prilaziti cilju malenim koracima i trebat će desetljeća da se postigne taj povijesni podvig.

Računalo koje može oponašati ljudski mozak pojavit će se vjerojatno sredinom stoljeća. Čak i tad će trebati nekoliko desetljeća da se posloži masa podataka u tom projektu i da se prilagodi ljudskome umu. Utapat ćemo se u sili podataka bez načina da smisleno poslažemo tu buku.

DEMONTIRANJE MOZGA

Što je s drugim pristupom, s lociranjem svakoga neurona u mozgu?

Taj je pristup herkulovski zadatak i mogao bi nas stajati desetljeća napornoga rada. Umjesto korištenja super-računala poput Blue Genea, znanstvenici koriste metodu sjeckanja i disekcije mozga vinske mušice na vrlo tanke odreske široke oko 50 nanometara (oko 150 atoma). Tako nastaju milijuni odrezaka. Tad mikroskop za skeniranje elektrona slika svaki odrezak u rezoluciji od oko milijardu piksela u sekundi. Količina podataka koju dobivamo mikroskopom za elektrone je zadivljujuća i iznosi oko 1000 bilijuna bitova podataka. Obrada podataka, koja se sastoji u 3D rekonstrukciji veza između pojedinog neurona u mozgu vinske mušice, mogla bi trajati oko pet godina. Da bismo dobili precizniju sliku o mozgu vinske mušice, trebali bismo nakon toga narezati još jedan veliki broj takvih mozgova.

Gerry Rubin s Medicinskog instituta Howard Hughes, jedan od stručnjaka na ovom području, smatra da će za potpunu mapu mozga vinske mušice biti potrebno dvadeset godina. “Nakon što to postignemo, smatram da ćemo biti na pola puta do razumijevanja ljudskog uma”, zaključuje. Rubin shvaća zahtjevnost zadatka s kojim se suočava. Ljudski mozak ima milijun puta više neurona negoli mozak vinske mušice. Ako treba 20 godina da se identificira svaki neuron mozga mušice, trebat će zasigurno još mnogo desetljeća da se u potpunosti shvati arhitektura ljudskoga mozga. Cijena toga projekta bit će astronomska.

Radnici na području reinženjeringa mozga su frustrirani. Vide da je njihov cilj na dohvat ruke, ali nedostatak financiranja sprječava napredak. Razumno je pomišljati da ćemo sredinom stoljeća imati računalnu snagu za simulaciju ljudskoga uma i grube karte strukture moždanih neurona. No, možda će doista trebati pričekati kraj stoljeća da u potpunosti shvatimo ljudsku misao ili da budemo u stanju napraviti stroj koji može oponašati funkcioniranje ljudskoga mozga.

Na primjer, čak ako vam je i dana točna lokacija svakoga gena u mravu, to ne znači da znate kako nastaje mravinjak. Isto tako, samo zato što znanstvenici poznaju otprilike 25 000 gena koji sačinjavaju ljudski genom, ne znači da znaju kako funkcionira ljudsko tijelo. Human Genome

Project je poput rječnika u kojemu nema definicija. Svi su pojedini geni ljudskoga tijela popisani u tome rječniku, ali koja je funkcija svakome genu i dalje je velikim dijelom misterij. Svaki gen kodira pojedini protein, ali nije poznato kako ti proteini djeluju u tijelu.

Znanstvenici su 1986. uspjeli napraviti potpunu kartu lokacija neurona u živčanom sustavu sićušnoga crva C. elegans. To se na početku prikazivalo kao otkriće koje će nam omogućiti da dekodiramo misterij mozga. Poznavanje precizne lokacije 302 živčane stanice i 6000 kemijskih sinapsi nije proizvelo nikakvo novo razumijevanje funkcioniranja crva, čak ni desetljećima nakon otkrića.

Na sličan će način trebati proći desetljeća nakon konačnoga reinženjeringa ljudskoga mozga da shvatimo kako svi dijelovi funkcioniraju i kako se sklapaju u jedno. Ako ljudski mozak bude reinženjeriran i dekodiran do kraja stoljeća, trebat će nam još uvijek divovski koraci do stvaranja čovjekolikih robota. A što će ih onda spriječiti da preuzmu vlast?

DALEKA BUDUĆNOST (2070. DO 2100.)

KAD STROJEVI BUDU IMALI SVIJEST

U seriji filmova Terminator, Pentagon je stvorio Skynet, snažnu računalnu mrežu zamišljenu da vjerno kontrolira nuklearni arsenal SAD-a. Bez grješke izvršava svoje zadatke do jednoga dana 1995. kad se događa nešto neočekivano. Skynet je postao svjestan. Ljudi nadležni za održavanje Skyneta u šoku pokušavaju ugasiti program, ali biva prekasno. U samoobrani Skynet odlučuje da je jedini način kako bi se zaštitio da pokrene nuklearni rat protiv čitavoga čovječanstva. Tri milijarde ljudi pretvoreno je u pepeo u nuklearnome paklu. Nakon bitaka, Skynet proizvodi legije robota ubojica s ciljem da poubija zadnje preživjele. Moderna civilizacija se urušila i bila svedena na majušnu, jadnu skupinu pobunjenika.

U filmu Matrix, ljudi su toliko primitivni da i ne shvaćaju da su strojevi preuzeli vlast. Ljudi obavljaju svakodnevne poslove, misleći da je sve u redu, zaboravljajući činjenicu da zapravo žive u kapsulama. Njihov je svijet simulacija stvarnosti koju proizvode roboti. Ljudska stvarnost samo je računalni program koji se pokreće u velikom računalu, a umeće se izravno u mozgove ljudi koji žive u kapsulama. Jedini razlog zašto još uvijek postoje ljudi jest da ih roboti koriste kao baterije.

Hollywood, naravno, zarađuje svoj kruh strašeći svoju publiku. Ipak, postoji i legitimno znanstveno pitanje: što će se dogoditi kad roboti postanu pametni kao mi? Što će se dogoditi kad se roboti probude i postanu svjesni? Znanstvenici žučno raspravljaju o tome pitanju: ne hoće li, nego kad će se taj povijesni trenutak dogoditi.

Prema nekim stručnjacima, naša robotska stvorenja će se postupno penjati evolucijskim stablom. Danas su pametni kao žohari. U budućnosti će biti pametni poput miševa, zečeva, pasa i mačaka, majmuna i doskora će konkurirati ljudima. Trebat će desetljeća da se pomalo uspnu tim putem, ali oni smatraju da je samo pitanje vremena kad će roboti nadmašiti ljude inteligencijom.

Stručnjaci za umjetnu inteligenciju podijeljeni su po pitanju vremena kad će se to zbiti. Neki smatraju da će unutar dvadeset godina roboti dosegnuti ljudsku inteligenciju i da će nas kasnije ostaviti daleko iza sebe. Vernor Vinge je kazao 1993.: “Unutar 30 godina imat ćemo tehnološka sredstva da stvorimo nadljudsku inteligenciju. Uskoro će završiti ljudska era… Bio bih iznenađen kad bi se taj događaj dogodio prije 2005. ili poslije 2030.”

S druge strane, Douglas Hofstadter, autor djela Gödel, Escher, Bach, kaže: “Bio bih veoma iznenađen kad bi se išta slično dogodilo u sljedećih 100 do 200 godina.”

Kad sam razgovarao s Marvinom Minskym s MIT-ja, jednim od očeva umjetne inteligencije, oprezno mi je rekao da ne može odrediti datum kad bi se to moglo dogoditi. On vjeruje da će doći taj dan, ali se kloni proricanja i predviđanja točnoga datuma. (Budući da je jedan od najstarijih stručnjaka na polju umjetne inteligencije, vidio je vjerojatno previše neuspjelih predviđanja.)

Velik dio problema s tim scenarijima temelji se na izostanku općega suglasja oko značenja riječi svjesnost. Filozofi i matematičari su se borili s tom riječju stoljećima, a nisu uspjeli išta utvrditi. Sedamnaestostoljetni mislilac Gottfried Leibniz, izumitelj infinitezimalnoga računa, jednom je napisao: “Kad bismo mogli napuhati mozak do veličine mlina i hodati u njemu, ne bismo pronašli svijest u njemu.” Filozof David Chalmers je katalogizirao 20 000 članaka napisanih o toj temi bez da postoji ikakvo suglasje.

Ni u jednom drugom području znanosti nije se našlo toliko ljudi koji su postigli toliko malo uspjeha.

Svijest je nažalost neodređena riječ s različitim značenjem za različite ljude. Nažalost, ne postoji opće prihvaćena definicija pojma.

Osobno smatram da je dio problema neuspjeh jasnoga definiranja pojma i neuspjeh njegove kvantifikacije.

Ako bih se upustio u pretpostavku, zamislio bih da je svijest sastavljena od barem tri temeljne komponente:

1.
osjećanje i prepoznavanje okoline

2.
svijest o sebi

3.
planiranje budućnosti postavljanjem ciljeva i planova, to jest, simuliranje budućnosti i sastavljanje strategije

S takvim pristupom čak i jednostavni strojevi i insekti imaju neki oblik svijesti koji se može rangirati na ljestvici od 1 do 10. Postoji kontinuum svijesti koji se može kvantificirati. Čekić ne može osjetiti svoju okolinu, pa bi tako imao 0 na toj ljestvici. Termostat može. Suština termostata je da može osjetiti temperaturu okoline i postupati sukladno njoj, stoga bi dobio 1. Prema tome, strojevi s mehanizmom povratne sprege imaju primitivni oblik svijesti. Crvi također imaju ovu sposobnost. Mogu osjetiti prisutnost hrane, partnera, opasnosti i djelovati u skladu s informacijom, ali ne mogu činiti mnogo više od toga. Insekti mogu osjećati prema više parametara (vid, miris, sluh, njuh i tlak) i dobivaju veću brojčanu oznaku, recimo 2 ili 3.

Najviši oblik osjećanja bila bi sposobnost prepoznavanja i razumijevanja predmeta u okolišu. Ljudi mogu neposredno izmjeriti svoj okoliš i djelovati u skladu i prema tome kotiraju visoko na ovoj ljestvici. Međutim, ovdje roboti postižu slabe rezultate. Prepoznavanje obrazaca, kao što smo vidjeli, ostaje jedna od glavnih prepreka za umjetnu inteligenciju. Roboti mogu osjetilno pojmiti

okolinu mnogo bolje od ljudi, ali ne mogu prepoznavati niti razumjeti ono što vide. Na ovoj razini svijesti roboti su jako nisko na ljestvici, blizu insekata, upravo zbog nedostatka sposobnosti prepoznavanja obrazaca.

Sljedeća viša razina svijesti uključuje svijest o sebi. Ako postavite ogledalo ispred mužjaka većine vrsta životinja, oni će reagirati agresivno i čak napasti ogledalo. Slika potiče životinju da brani svoj teritorij. Mnoge životinje nemaju svijest o tome tko su one. Majmuni, slonovi, dupini i neke ptice brzo shvate da su oni same prikaz u ogledalu i obustavljaju napad. Ljudi bi bili vrlo visoko na takvoj ljestvici, jer imaju iznimno razvijen osjećaj tko su u odnosu prema drugim životinjama, drugim ljudima i prema svijetu. K tome, ljudi su toliko svjesni sebe da mogu u sebi razgovarati sami sa sobom i na taj način procjenjivati situaciju mišljenjem.

Treća razina predstavlja sposobnost da se oblikuju planovi za budućnost. Insekti, prema našem trenutnome znanju, ne razvijaju ciljeve u budućnosti. Oni reagiraju na neposredne situacije na temelju trenutka, pouzdajući se u instinkte i znakove iz neposredne okoline.

U tome smislu su grabežljivci svjesniji od plijena. Grabežljivci moraju planirati unaprijed, tražiti mjesto za skrivanje, planirati zasjedu, uhoditi, anticipirati bijeg plijena. Plijen samo mora pobjeći, tako da se nalazi niže na ljestvici.

Nadalje, primati su sposobni improvizirati dok rade planove za neposrednu budućnost. Ako im se pokaže banana koja je izvan njihova dosega, u stanju su osmisliti načine da je dohvate, poput služenja štapom. Kad su suočeni sa specifičnim ciljem (dosizanje hrane), primati će praviti planove za neposrednu budućnost kako bi postigli cilj.

Sve u svemu, životinje nemaju razvijen osjećaj daleke prošlosti i budućnosti. Izgleda da nema sutrašnjice u životinjskome carstvu. Nemamo nimalo dokaza da mogu misliti nekoliko dana u budućnost. (Životinje će pohraniti hranu za zimu, ali to je genetsko nasljedstvo: programirani su genima da reagiraju na padanje temperature traženjem hrane.)

Ljudi imaju vrlo razvijen osjećaj za budućnost i neprestano kuju planove. Neprestano vrtimo simulacije stvarnosti u našim glavama. Možemo promišljati planove za razdoblje daleko poslije našeg života. Prosuđujemo druge ljude prema njihovoj sposobnosti da predvide situacije koje će se razviti i da oblikuju konkretne strategije. Jedno je od glavnih obilježja vođenja i upravljanja anticipiranje budućih situacija, prosudba mogućih ishoda i postavljanje konkretnih ciljeva shodno tome.

Drugim riječima, taj oblik svijesti uključuje predviđanje budućnosti, to jest, stvaranje mnogostrukih modela koji aproksimativno određuju buduće događaje. To zahtijeva vrlo sofisticirano razumijevanje zdravoga razuma i pravila prirode. Prema tome, mi neprestano ispitujemo sami sebe “što bi bilo, kad bi bilo”. Bilo da se radi o pljački banke ili o kandidiranju za predsjednika, takvo planiranje znači sposobnost pokretanja mnogostrukih situacija raznih mogućih stvarnosti u vašoj glavi.

Sve ukazuje da su u čitavoj prirodi jedino ljudi savladali to umijeće.

To dolazi na vidjelo kad se analiziraju psihološki profili testiranih subjekata. Psiholozi često uspoređuju psihološke profile odraslih s njihovim profilima dok su bili djeca. Tad se postavlja pitanje: “Koja osobina predviđa uspjeh u braku, karijeri, zdravlju, itd.?” Kad se kompenziraju društveno-ekonomski čimbenici, vidimo da je jedna karakteristika iskače ispred drugih: sposobnost odgađanja zadovoljstva. Prema dugoročnim studijama Waltera Mischela sa Sveučilišta

Columbia, ali i mnogih drugih, djeca koja su bila sposobna zakočiti želju za neposrednim zadovoljenjem (npr. pojesti sljezove kolačiće) i koja su se suzdržala u cilju dobivanja većih dugoročnih nagrada (dobivanje dvaju sljezovih kolačića umjesto jednoga), bez iznimke su ostvarivala bolje rezultate na svim mjerenjima uspjeha, na prijemnim ispitima za sveučilišta, u životu, u ljubavi i karijeri.

Sposobnost odgađanja zadovoljenja ukazuje na višu razinu samosvijesti i svijesti. Ova su djeca bila u stanju simulirati budućnost i shvatila su da će buduća nagrada biti veća. Sagledavanje budućih posljedica naših postupaka zahtijeva višu razinu samosvijesti.

Znanstvenici na području umjetne inteligencije trebali bi težiti razvoju robota sa svim trima karakteristikama. Prvo je vrlo teško postići, s obzirom na to da roboti mogu osjetilima registrirati okoliš, ali ne i razumjeti ono što vide. Lakše je postići svijest o sebi. Planiranje budućnosti zahtijeva zdrav razum, intuitivno razumijevanje onoga što je moguće i konkretne strategije za postizanje specifičnih ciljeva.

Dakle, vidimo da je zdrav razum pretpostavka najviših razina svijesti. Da bi robot mogao simulirati stvarnost i predviđati budućnost, potrebno je da savlada milijune zdravorazumskih pravila o svijetu oko njega. Zdrav razum, međutim, nije dostatan. Zdrav razum pruža samo "pravila igre", ali ne i pravila strategije i planiranja.

Na ovoj ljestvici možemo ocijeniti sve različite robote koji su dosad proizvedeni.

Vidimo da bi Deep Blue, šahovski stroj, bio vrlo nisko. Može pobijediti svjetskoga šahovskog prvaka, ali ništa više. U stanju je simulirati situacije stvarnosti, ali samo u šahu. Nesposoban je simulirati druge stvarnosti. To je tako s mnogim najvećim svjetskim računalima. Ističu se simuliranjem jedne stvarnosti jednoga predmeta, primjerice modelirajući nuklearnu detonaciju, obrasce vjetra oko motora zrakoplova ili vremenske okolnosti. Ova računala mogu simulirati te stvarnosti mnogo bolje od ljudi, ali su žalosno jednodimenzionalna i stoga nesposobna za preživljavanje u stvarnom svijetu.

Danas su stručnjaci ostali bez ideje kako kopirati te procese u robotu. Mnogi odmahuju rukama i govore da će velike mreže računala nekako pokazati "fenomene emergencije" na isti način kao što iz kaosa ponekad spontano nastane red. Kad ih upitate kako će točno ti fenomeni stvoriti svijest, okrenu pogled prema nebesima.

Premda ne znamo kako stvoriti robota sa sviješću, možemo zamisliti kako bi izgledao robot napredniji od nas, u ovom okviru za mjerenje svijesti.

Isticali bi se po trećoj karakteristici: mogli bi simulirati budućnost kudikamo bolje od nas, iz više perspektiva i s više detalja i dubine. Njihove bi simulacije bile preciznije od naših, jer bi imali bolje shvaćanje zdravoga razuma i zakona prirode pa bi stoga mogli mnogo točnije otkriti obrasce. Mogli bi anticipirati probleme koje bismo mi mogli zanemariti. Ako njihov cilj bude pomaganje ljudskome rodu, sve će biti u redu. Ako jednoga dana oblikuju ciljeve kojima će ljudi stajati na putu, to bi moglo imati gadne posljedice.

To postavlja sljedeće pitanje: što se događa se ljudima u takvom scenariju?

KAD ROBOTI NADMAŠE LJUDE

Prema jednom scenariju, mi jadni ljudi odgurnuti smo u stranu kao ostatak evolucije. Zakon je

evolucije da prilagođenije vrste zamjenjuju neprilagođene. Možda će ljudi jednostavno izgubiti svoje mjesto i završiti u zoološkim vrtovima gdje će nas naša robotska stvorenja dolaziti gledati. Možda je to naša sudbina: da stvorimo super-robote koji će s nama postupati kao s bićima iz primitivnog stupnja u svome razvoju. Možda je naša uloga u povijesti da stvorimo svoje evolucijske nasljednike. Iz te perspektive naša je uloga da očistimo teren.

Douglas Hofstadter mi je povjerio da je to možda prirodni poredak stvari, ali da bismo trebali postupati s tim robotima kao sa svojom djecom, zato što to oni i jesu u nekom smislu. Ako se možemo brinuti za svoju djecu, rekao mi je, zašto se ne bismo mogli brinuti i za inteligentne robote, koji su također naša djeca?

Hans Moravec promišlja kako ćemo se osjećati nerazvijeni u usporedbi prema robotima: "… život će se možda činiti besmislen, ako nam je sudbina da ga provodimo gledajući tupo u svoje ultrainteligentne potomke dok nam oni budu objašnjavali svoja spektakularna otkrića na jeziku koji mi možemo razumjeti."

Kad ugledamo dan kada će roboti postati pametniji od nas, ne samo da više nećemo biti najinteligentnija bića na planetu, nego će se naša stvorenja moći umnažati i stvarati još inteligentnije kopije. Ova vojska robota koji se sami reproduciraju stvarat će beskrajne generacije robota od kojih će svaka biti inteligentnija od prethodne. Budući da roboti mogu teoretski stvarati sve pametnije generacije robota u kratkom roku, s vremenom će taj proces eksponencijalno eksplodirati, dok ne proguta Zemljine resurse u neutaživoj želji za većom inteligencijom.

U drugom scenariju, taj vučji apetit za sve većom inteligencijom poharat će sve resurse na planeti i Zemlja će na kraju postati jedno veliko računalo. Neki su zamislili da će ti roboti tada poći u svemir i nastaviti potragu za većom inteligencijom, dok ne stignu do drugih planeta, zvijezda i galaksija i pretvore ih u računala. Budući da su planeti, zvijezde i galaksije toliko nevjerojatno udaljeni, možda će računalo izmijeniti zakone fizike da bi se vučji apetit mogao zasititi brže od brzine svjetlosti i na taj način progutati sazviježđa i galaksije. Neki čak smatraju da bi moglo zauzeti čitav svemir i da bi on mogao postati inteligentan.

Ovdje se radi o "singularnosti". Riječ dolazi iz svijeta teorije relativnosti, moje specijalnosti, u kojoj singularnost predstavlja točku neograničene gravitacije kojoj ništa ne može umaći, poput crne rupe. Budući da svjetlo ne može umaći, mi ne možemo vidjeti horizont iza nje.

Ideja singularnosti umjetne inteligencije po prvi je put spomenuta 1958. u razgovoru dvojice matematičara, Stanislawa Ulama (koji je pridonio svojim otkrićem stvaranju vodikove bombe) i Johna von Neumanna. Ulam je zapisao: "Naš se razgovor usredotočio na ubrzani napredak tehnologije i promjena u načinu života ljudi koji daju pomisliti da se približavamo nekoj suštinskoj singularnosti u povijesti ljudskoga roda, nakon koje ljudske stvari više neće biti iste." Inačice te ideje vrtjele su se zadnjih nekoliko desetljeća. Pojačao ih je i popularizirao matematičar i pisac znanstvenofantastičnih djela Vernor Vinge.

To nas ostavlja bez odgovora na ključno pitanje: kad će se dogoditi ova singularnost? Tijekom našega života? Možda u sljedećem stoljeću? Podsjećamo da su sudionici Asilomara 2009. odredili datum između 20 i 1000 godina od današnjega dana.

Ray Kurzweil, izumitelj i pisac, istaknuo se u zastupanju singularnosti, a inače je sklon predviđanju na temelju eksponencijalnoga razvoja tehnologije. Kurzweil mi je jednom rekao da gledajući zvijezde u noći razmišlja kako bismo mogli naći dokaz za singularnost koja se događa u nekoj dalekoj galaksiji. Sa sposobnošću zauzimanja ili preuređenja čitavoga sazviježđa, trebao bi

ostati neki trag takve brze singularnosti (Njegovi ga kritičari optužuju da potiče gotovo religiozni žar oko singularnosti. Njegove pristaše ističu da ima začudnu sposobnost uvida u budućnost sudeći prema dosadašnjim predviđanjima.)

Kurzweil je učinio svoje prve korake u računalnoj revoluciji pokretanjem nekoliko tvrtki u raznim područjima koja uključuju prepoznavanje obrazaca poput prepoznavanja govora, prepoznavanja optičkih znakova i elektroničkih tipkovnica i drugih uređaja. Napisao je 1999. godine uspješnicu Doba spiritualnih strojeva: Kada računala nadmaše ljudsku inteligenciju u kojoj predviđa kad će nas roboti prijeći u inteligenciji. Napisao je 2005. knjigu Singularnost je blizu u kojoj je razvio svoje ideje i predviđanja. Strašan dan kad će roboti nadmašiti ljude u inteligenciji dogodit će se postupno.

Do godine 2019., predviđa, računalo od 1000 dolara imat će sirovu snagu ljudskoga mozga. Uskoro nakon toga računala će nas ostaviti daleko iza sebe. Do 2029. računalo vrijedno 1000 dolara imat će 1000 puta više snage nego ljudski mozak. Do 2045. računalo od 1000 dolara bit će milijardu puta inteligentnije od svih ljudi zajedno. Čak će i malena računala nadmašiti sposobnosti čitavoga čovječanstva zajedno. Nakon 2045. računala će postati toliko napredna da će se moći razmnožavati i povećavati svoju inteligenciju stvarajući uzletište za singularnost. Da bi zadovoljili beskrajan apetit za računalnom snagom, počet će zauzimati Zemlju, asteroide, zvijezde i promijeniti kozmološku povijest svemira.

Imao sam prigodu posjetiti Kurzweila u njegovom uredu u Bostonu. Hodajući kroz hodnike vidite nagrade i priznanja koje je dobio, kao i neke glazbene instrumente koje je dizajnirao i koje koriste vrhunski glazbenici poput Stevieja Wondera. Kazao mi je da je doživio trenutak u životu kad se sve promijenilo. Bilo je to kada mu je s 35 godina bio dijagnosticiran dijabetes 2. tipa. Odjednom je shvatio da neće živjeti dovoljno dugo da vidi kako se njegova predviđanja ostvaruju. Njegovo je tijelo, nakon godina zanemarivanja, ostarjelo više od stvarnih godina. Potresen tom dijagnozom, uhvatio se u koštac s problemom osobnoga zdravlja s istim entuzijazmom i energijom koju je ulagao u računalnu revoluciju. (Danas pije preko stotinu tableta dnevno, a napisao je nekolicinu knjiga o revoluciji dugovječnosti. Očekuje da će revolucija mikroskopskih robota omogućiti čišćenje i popravljanje ljudskoga tijela, koje će moći živjeti vječno. Njegova je filozofija da bi on volio živjeti dovoljno dugo da vidi medicinska otkrića koja će neograničeno produžiti životni vijek. Drugim riječima, on želi živjeti dovoljno dugo da bi mogao živjeti vječno.)

Nedavno je pokrenuo ambiciozan projekt pokretanja Sveučilišta Singularnosti koje ima bazu u NASA-inu Ames laboratoriju u području San Francisca i osposobljava znanstvenike za nadolazeću singularnost.

Postoje mnoge inačice i kombinacije tih različitih tema.

Kurzweil vjeruje: “To neće biti invazija inteligentnih strojeva. Mi ćemo se spojiti s tom tehnologijom… Stavit ćemo inteligentne uređaje u svoja tijela i mozgove i živjet ćemo duže i zdravije.”

Svaka kontroverzna ideja poput one o singularnosti mora naići na razdoblje stagnacije. Mitch Kapor, osnivač tvrtke Lotus Development Corporation, tvrdi da je singularnost “inteligentni dizajn za ljude koji imaju IQ 140… Ideja da idemo prema trenutku nakon kojega će sve biti nezamislivo drugačije je fundamentalno motivirana religijskim porivom. Sve frenetično odmahivanje rukom mi ne može sakriti tu činjenicu.”

Douglas Hofstadter je kazao: “To je kao da ste uzeli mnogo dobre hrane i malo psećega

izmeta i dobro pomiješali tako da sada više ne možete kazati što je dobro, a što loše. To je mješavina smeća i dobrih ideja pa je veoma teško razdvojiti jedno od drugoga, jer radi se o pametnim ljudima. Oni nisu nimalo glupi."

Nitko ne zna kako će se to odigrati. Ja smatram da je sljedeći scenarij najizgledniji.

NAJIZGLEDNIJI SCENARIJ: PRIJATELJSKA UMJETNA INTELIGENCIJA

Prvo, znanstvenici će vjerojatno poduzeti jednostavne mjere da roboti ne budu opasni. U najgorem slučaju, znanstvenici mogu staviti čip u mozak robota koji će ih automatski ugasiti kad se pojave ubilačke misli. Takvim pristupom svi bi roboti imali mehanizam osiguranja od zakazanja koji ljudi mogu uključiti bilo kad, a osobito ako roboti pokazuju zastranjujuće ponašanje. Na najmanju naznaku neispravnog ponašanja, glasovna bi ga zapovijed automatski ugasila.

Mogli bi se razviti specijalni roboti lovci koji bi neutralizirali devijantne robote. Takvi bi roboti bili dizajnirani da budu brži, snažniji i snalažljiviji kako bi mogli onesposobiti zastranjene robote. Razumjeli bi slabe točke svakoga robotskoga sustava i kako se ponašaju u danim okolnostima. Ljudi bi se isto tako mogli izvježbati u ovoj vještini. U filmu Istrebljivač, specijalna skupina agenata, koja uključuje lika kojeg tumači Harrison Ford, poznaje tehnike potrebne za neutralizaciju svakoga pobunjenog robota.

Budući da će trebati mnoga desetljeća napornoga rada da se roboti uspnu na evolucijskoj ljestvici, neće iznenaditi čovječanstvo i odvući ga u zoološke vrtove kao stoku. Svijest je proces koji se može ocjenjivati ljestvicom, a nije iznenadni evolucijski događaj. Trebat će mnoga desetljeća da se roboti uspnu na ljestvici svijesti. Majci prirodi trebali su milijuni godina da razvije ljudsku svijest. Tako da ljudi neće biti uhvaćeni nespremni kad se internet jednoga dana neočekivano "probudi" ili roboti počnu kovati vlastite planove.

Takva je inačica zamišljena u djelima autora Isaaca Asimova. On je zamislio da se svaki robot u tvornici opremi s tri zakona koji će ih priječiti da se otmu kontroli. Osmislio je svoja tri slavna zakona koji priječe robotima da naštete sebi ili ljudima (Tri zakona su sljedeća: roboti ne smiju naškoditi ljudima, moraju slušati ljude i moraju se štititi. Tim redom prioriteta.)

(Čak i s Asimovljevim trima zakonima postoje problemi kad se javljaju proturječja između zakona. Što se događa ako čovječanstvo donese autodestruktivne odabire koji mogu ugroziti ljudski rod? Tad bi prijateljski nastrojen robot mogao osjetiti potrebu da preuzme kontrolu nad vlasti da spriječi čovječanstvo od uništenja. Will Smith se suočio s takvim scenarijem u filmu Ja, robot u kojemu središnje računalo odlučuje "da neki ljudi moraju biti žrtvovani, a neke slobode ukinute" s ciljem da se spasi čovječanstvo. Da bismo spriječili robote da nas porobe s ciljem da nas spase, neki su zastupali da moramo donijeti nulti zakon robotike: Roboti ne smiju uništavati ili porobiti ljudski rod.)

Mnogi znanstvenici se okreću prema "prijateljskoj umjetnoj inteligenciji". Roboti su dizajnirani od početka da budu benigni. Budući da smo mi njihovi kreatori, možemo ih dizajnirati od samoga početka da izvode samo korisne i dobrovoljne zadatke.

Sam je termin skovao Eliezer Yudkowsky, osnivač Instituta za umjetnu inteligenciju Singularity. Prijateljska umjetna inteligencija razlikuje se od Asimovljevih zakona koji su nametnuti robotima možda protiv njihove volje. (Asimovljevi zakoni, budući da su nametnuti izvana, mogli bi poticati robote da nađu pametne načine da ih zaobiđu.) U prijateljskoj umjetnoj

inteligenciji roboti su slobodni počiniti umorstvo ili stvarati nered. Nema pravila koja se nameću umjetnoj inteligenciji. Ti su roboti dizajnirani od samoga početka sa željom da pomažu roditelje, a ne da ih uništavaju. Oni biraju da budu dobroćudni.

To je razvilo novo područje istraživanja koje se naziva "društvena robotika" koja je zamišljena da razvije metode implementiranja kvaliteta u robote koje će im omogućiti integraciju u ljudsko društvo. Znanstvenici u tvrtci Hanson Robotics izjavili su da je njihov zadatak razviti robote "koji će se razviti u društveno inteligentna bića, sposobna za ljubav i za zaraditi svoje mjesto u proširenoj ljudskoj obitelji."

Istina je ipak da vojska izdvaja najviše novaca za sustave umjetne inteligencije i da su takvi roboti posebno osmišljeni da love i ubijaju ljude. Možemo bez problema zamisliti robote vojnike čiji je zadatak identificirati ljudske neprijatelje i eliminirati ih s nepogrješivom preciznošću. Morale bi se poduzeti nevjerojatne mjere da se osigura vjernost takvih robota i da se spriječi njihovo okretanje protiv svojih gospodara. Bespilotni vojni avion, primjerice, upravljan je pomoću daljinske kontrole i ljudi su izravno umiješani u njihove odluke i pokrete. Jednoga bi dana takve letjelice mogle biti autonomne, biti sposobne da same odaberu i eliminiraju vlastite ciljeve. Kvar na takvom sustavu mogao bi imati razorne posljedice.

U budućnosti će sve više i više financiranja dolaziti iz civilnog i trgovačkoga sektora, osobito u Japanu gdje se roboti stvaraju da pomognu, a ne da uništavaju. Ako se takav trend nastavi, možda će prijateljska umjetna inteligencija postati stvarnost. Prema takvom scenariju, potrošački sektor i tržišne sile preuzet će robotiku u svoje ruke, tako da će postojati veliki trgovački interes za ulaganje u prijateljsku umjetnu inteligenciju.

STAPANJE S ROBOTIMA

Uz prijateljsku umjetnu inteligenciju postoji i druga opcija: stapanje s našim stvorenjima. Umjesto da jednostavno čekamo da nas roboti nadmaše inteligencijom i snagom, možemo pokušati pojačati sami sebe i postajati nadljudi u tijeku. Najizglednije je da u budućnosti krenemo kombinacijom razvoja prijateljske umjetne inteligencije i poboljšavanja vlastite prirode.

Ovu mogućnost istražuje Rodney Brooks, bivši ravnatelj slavnoga MIT Artificial Intelligence laboratorija. Nonkonformist koji je odbacio drage, ali okamenjene ideje i ubrizgao duh inovacije u polje istraživanja. Kad je ušao u istraživanje, pristup odozgo nadolje bio je dominantan na većini sveučilišta. Istraživanja su, međutim, stagnirala. Brooks je izazvao negodovanje kad je pozivao da se proizvede vojska robota nalik na insekte koji uče pristupom odozdo nagore, tj. udaranjem u prepreke. Nije želio proizvesti još jednoga teško pokretljivog robota kojemu treba nekoliko sati da prijeđe prostoriju. Umjesto toga je proizveo pokretljive "insektoide" ili "bubobote" koji gotovo i nisu bili programirani, ali su brzo mogli naučiti hodati i zaobilaziti prepreke metodom pokušaja i pogrješke. On vidi dan kad će roboti istraživati sunčev sustav i udarati na prepreke na koje budu nailazili na putu. Ideja je bila vanzemaljska, a iznio ju je u članku "Brzo, jeftino i izvan kontrole", ali njegov je pristup otvorio neke ozbiljne perspektive. Jedna od nuspojava njegovih ideja su Mars Roveri koji sada pretražuju površinu Crvenoga planeta. Ne iznenađuje da je bio predsjednik tvrtke iRobot koja komercijalizira usisivače nalik na bube.

Prema njegovom mišljenju, jedan je od glavnih problema što stručnjaci slijede hirove trenutka, a ne misle na svjež način. Objašnjava: "Dok sam bio dijete, čitao sam knjigu koja je objašnjavala mozak kao ploču za preusmjeravanje telefonskih poziva. Ranije su ga knjige objašnjavale kao hidrodinamički sustav ili kao parni stroj. 1960-ih je napokon postao digitalno

računalo. 1980-ih je postao masivno paralelno digitalno računalo. Danas vjerojatno postoji knjiga za djecu koja govori da je mozak poput interneta…"

Na primjer, neki su povjesničari zamijetili da je analiza uma Sigmunda Freuda bila nadahnuta pojavom parnoga stroja. Širenje željeznica kroz Europu sredinom i krajem 19. stoljeća imalo je dubok utjecaj na razmišljanje intelektualaca. U Freudovoj slici postojali su tokovi energije u umu koji su se neprestano natjecali s drugim tokovima u njemu kao u parnim cijevima u motoru. Neprestana interakcija između superega, ida i ega nalikuje neprestanoj interakciji parnih cijevi u lokomotive. Činjenica da potiskivanje tih tokova može stvoriti neuroze odgovara načinu kako parna energija može biti eksplozivna, ako se zatvori bez izlaza.

Marvin Minsky mi je priznao da je još jedna paradigma zavodila istraživanje dugi niz godina. Budući da su mnogi istraživači umjetne inteligencije bivši fizičari i pate od sindroma "zavisti prema fizici", to jest, od želje da postoji jedna i jedinstvena potka sve inteligencije. U fizici imamo čežnju da slijedimo Einsteina koji je sveo fizički svemir na rukovet ujedinjavajućih jednadžbi. Cilj je naći jednu kratku jednadžbu koja će sažeti čitav svemir u jednu suvislu ideju. Minsky misli da je takva čežnja gurala istraživače da traže jedno i jedinstveno objašnjenje svijesti. On smatra da ne postoji takvo objašnjenje. Evolucija je nasumice nagomilala nekoliko različitih tehnika koje mi jednim imenom zovemo svijest. Rastavite mozak i vidjet ćete cio niz mini-mozgova, svaki dizajniran da izvršava specifični zadatak. On to naziva "društvom mozgova": svijest je zapravo zbroj mnogih odvojenih algoritama i tehnika koje je priroda nagomilala tijekom milijuna godina.

Rodney Brooks je tražio sličnu paradigmu, ali jednu koja još nikada nije bila istražena. Uskoro je shvatio da su majka priroda i evolucija davno riješili te probleme. Primjerice, komarac sa samo nekoliko stotina tisuća neurona može nadmašiti najveće vojno računalo. Za razliku od naših bespilotnih letjelica, komarci s mozgovima manjim od oštrice čavla mogu neovisno obilaziti prepreke, naći hranu i partnere. Zašto ne učiti od prirode i biologije? Pratimo li evolucijsku ljestvicu, uviđamo da insekti i miševi nemaju pravila logike programirana u svoje mozgove. Pokušajem i pogrješkom suočavali su se sa svijetom i savladali umijeće preživljavanja.

Sada radi na još jednoj heretičkoj ideji koju je razradio u svome članku "Stapanje mesa i strojeva". Napisao je da se u starim laboratorijima na MIT-ju, u kojima su se koristile silicijske komponente za industrijske i vojne robote, počinje koristiti živo tkivo za novu generaciju robota koja će biti sastavljena od oba materijala. Predviđa potpuno novu generaciju robota koja će sretno spojiti biološke i elektronske sustave i stvoriti posve novu arhitekturu robota.

On piše sljedeće: "Moje je predviđanje da ćemo do 2100. godine imati robote posvuda i u našim svakodnevnim životima. Nećemo biti odvojeni od njih, dapače, bit ćemo dijelom roboti i bit ćemo spojeni s njima."

On vidi napredak u etapama. Danas je u tijeku revolucija u protezama. Umeću se elektroničke naprave izravno u ljudsko tijelo da nadomjeste slušne, vidne i druge organe. Umjetna pužnica je unaprijedila područje audiologije i povratila sluh gluhima. Umjetne pužnice funkcioniraju povezivanjem elektronskih komponenti s biološkim, tj. s neuronima. Umjetna pužnica ima nekoliko dijelova. Mikrofon se nalazi izvan uha. On prima zvučne valove, obrađuje ih i prenosi radio signale u umjetnu pužnicu koja je kirurški ugrađena unutar uha. Ona prima radio poruku i pretvara je u električne valove koje šalje elektrodama dalje u uho. Pužnica prepoznaje te električne impulse i šalje ih u mozak. Ti umetci koriste do 24 elektrode i mogu obrađivati nekoliko frekvencija, što je dovoljno da prepoznaju ljudski glas. Već 150 000 ljudi diljem svijeta ima ugrađenu umjetnu pužnicu.

Nekoliko skupina pokušava istražiti načine da se pomogne slijepima stvaranjem umjetnoga vida pomoću kamere spojene na ljudski mozak. Jedan je način da se silicijski čip umetne izravno u mrežnicu i da se spoji na neurone mrežnice. Drugi je način da se poveže čip pomoću posebnoga kabela sa stražnjim dijelom lubanje u kojemu mozak obrađuje vid. Te su skupine po prvi puta u povijesti uspjele vratiti vid slijepima, barem u određenoj mjeri. Pacijenti su mogli vidjeti oko 50 piksela ispred sebe. Uskoro će znanstvenici podići broj piksela tako da će ih vidjeti tisuću.

Pacijenti mogu vidjeti vatromet, obrise svojih ruku, sjaj predmeta i svjetala, prisutnost vozila i ljudi i rubove predmeta. "Na utakmicama Male Lige mogu vidjeti hvatača, udarača i suca", kazuje Linda Morfoot, jedna od pacijenata koji su se podvrgli testiranju.

Dosad je 30 pacijenata imalo ugrađene umjetne mrežnice s do 60 elektroda. Na Sveučilištu u Južnoj Kaliforniji, pokrenut je Energy's Artificial Retina Project u okviru kojeg je namjera razviti novi sustav s više od 200 elektroda. Razmatra se i uređaj s 1000 elektroda (ako se stavi previše elektroda u čip, može doći do pregrijavanja mrežnice). U tome sustavu postavlja se minijaturna kamera na naočale slijepe osobe koja snima okolinu i šalje snimak bežično do mikroprocesora koji prenosi informaciju u čip smješten izravno u mrežnici. Čip šalje sitne impulse izravno u mrežnične živce koji su još uvijek aktivni i zaobilazi manjkave mrežnične stanice.

ROBOTSKA RUKA IZ RATOVA ZVIJEZDA

Koristeći mehanička poboljšanja možemo ostvariti podvige poznate iz znanstvene fantastike, uključujući robotsku ruku iz Ratova zvijezda i rendgenski vid iz Supermana. U filmu Imperij uzvraća udarac, Luke Skywalker gubi ruku u borbi s Darthom Vaderom, svojim ocem. Nema problema. Znanstvenici u njegovoj dalekoj galaksiji rade novu mehaničku ruku koja ima osjetilo dodira.

To možda zvuči kao znanstvena fantastika, ipak, mi to već možemo. Znatan je napredak postignut u Italiji i Švedskoj čiji su znanstvenici proizveli robotsku ruku koja zaista "osjeća". Robin Ekenstam, dvadesetogodišnji pacijent čija je desna ruka bila amputirana radi odstranjivanja zloćudnoga tumora, sad može kontrolirati pokrete i osjećati otpor. Liječnici su spojili živce ruke s čipovima u mehaničkoj ruci tako da sada može kontrolirati pokrete prstiju. Umjetna "pametna ruka" ima četiri motora i 40 senzora. Pokret ruke prenosi se u njegov mozak tako da ima povratnu informaciju. Budući da je načelo povratne informacije jedno od suštinskih obilježja tjelesnoga kretanja, ovo će unaprijediti život ljudi s protetskim umetcima.

Ekenstam kaže: "Odlično. Imam osjećaj koji nisam imao odavno. Pomalo se navikavam. Ako nešto čvrsto stisnem, mogu to osjetiti na vrhovima prstiju, a to je čudno, budući da ih više nemam."

Jedan od istraživača na Scuola Superiore Sant'Anna, Christian Cipriani, kaže: "Prvo, mozak kontrolira mehaničku ruku bez ikakvih mišićnih kontrakcija. Drugo, ruka može pružiti povratnu informaciju pacijentu tako da on može osjećati. Poput prave ruke."

Takav je razvoj veoma bitan, jer to znači da će ljudi jednoga dana moći bez muke kontrolirati mehaničke udove kao da su od mesa i kostiju. Umjesto da mučno uče kako pomicati ruke i noge od metala, ljudi će postupati s mehaničkim dodacima kao da su pravi i osjećat će svaku nijansu u pokretima udova pomoću elektroničkoga mehanizma povratne informacije.

To je još jedan dokaz teorije da je mozak veoma promjenjiv i neutvrđen te da se neprestano

prespaja dok uči nove zadatke i dok se prilagođava novim okolnostima. Mozak će stoga biti prilagodljiv da prihvati svaki dodatak ili osjetni organ. Mogu se spojiti na mozak na različitim pozicijama, a mozak jednostavno "nauči" kontrolirati taj novi dodatak. Ako je tomu tako, mozak možemo smatrati modularnim uređajem koji je sposoban spojiti se i kontrolirati različite dodatke i senzore različitih uređaja. Takav tip ponašanja je moguć, jer je naš mozak mreža neurona koji se stalno iznova povezuju svaki puta kad mozak nauči novi zadatak.

Rodney Brooks piše: "Kroz sljedećih 10 do 20 godina nastupit će kulturna revolucija kroz koju ćemo prihvatiti robotsku tehnologiju, silicij i čelik u našim tijelima da bismo poboljšali ono što možemo činiti i da bismo bolje razumjeli svijet." Nakon napretka postignutoga na Sveučilištu Brown i na Sveučilištu Duke u povezivanju mozga izravno s računalom ili s mehaničkom rukom, Brooks zaključuje: "Možda ćemo uspjeti povezati bežično naš mozak i mehaničke dodatke."

Na sljedećem stupnju želi stopiti silicij i žive stanice, ne samo za liječenje tjelesnih nedostataka, nego i da polako poboljša naše mogućnosti. Primjerice, danas umjetna pužnica i mrežnični umetci mogu povratiti sluh i vid, sutra bi mogli pojačati naše sposobnosti. Moći ćemo čuti zvukove koje samo psi čuju ili ćemo moći vidjeti ultraljubičastu, infracrvenu svjetlost i rendgenske zrake.

Moći ćemo poboljšati i našu inteligenciju. Brooks navodi istraživanje u kojem je štakoru dodan dodatni sloj neurona u kritičnom trenutku njegova razvoja. Kognitivne sposobnosti štakora bile su zamjetno uvećane. Predviđa doba kad će isto moći biti izvedeno i s ljudskim mozgom. U zadnjem ćemo poglavlju vidjeti da su biolozi već izolirali gen koji su mediji nazvali "gen pametnoga miša". Dodatkom toga gena miševi imaju mnogo veće pamćenje i sposobnost učenja.

Do sredine stoljeća Brooks predviđa razdoblje maštovitih tjelesnih poboljšanja koja će nam dati mogućnosti daleko veće od ljudskih. "Kroz 50 godina možemo očekivati temeljne promjene ljudskoga tijela pomoću genetske modifikacije." Kad se dodaju elektronska poboljšanja, "ljudske sposobnosti rukovanja razvit će se do nezamislivih visina… Nećemo više biti ograničeni Darwinovom evolucijom", zaključuje.

Naravno da se sa svime može pretjerati. Koliko daleko ćemo ići u stapanju s našim robotskim stvorenjima, a da to nekim ljudima ne postane odbojno?

SUROGATI I AVATARI

Jedan od načina da se stopimo s robotima, a da ne promijenimo ljudsko tijelo jest stvaranje surogata i avatara. U filmu Surogati, s Bruceom Willisom u glavnoj ulozi, godina je 2017. i znanstvenici su otkrili način da ljudi kontroliraju robote kao da su u njima, tako da živimo živote u savršenim tijelima. Robot reagira na svaku naredbu, a osoba vidi i osjeća sve što robot vidi i osjeća. Dok naša smrtna tijela propadaju, mi možemo kontrolirati pokrete surogatnoga robota koji ima nadljudske sposobnosti i savršeno je oblikovan. Film se zakomplicira, jer ljudi radije žive u tijelima prekrasnih i snažnih robota nego u svojim zapuštenim tijelima koja su shodno tome sakrivena. Čitav ljudski rod svojevoljno postaje robotski rod radije nego da se suoči sa stvarnošću.

U filmu Avatar koncept je razvijen još dalje. Umjesto da živimo u savršenim tijelima robota, godine 2154. moći ćemo živjeti u vanzemaljskim bićima. U filmu su tijela smještena u odjeljke koji omogućuju upravljanje pokretima posebno kloniranih tijela. Dana su nam potpuno nova tijela da živimo na novom planetu. Zaplet se događa kad jedan od radnika odlučuje napustiti čovječanstvo i živjeti životom vanzemaljca i štititi ih od plaćenika.

Takvi surogati i avatari nisu mogući danas, ali bi mogli postati mogući u budućnosti.

Nedavno su dodali novu ideju robotu ASIMO: daljinsko upravljanje. Na Sveučilištu Kyoto ljudi treniraju upravljanje mehaničkim pokretima robota korištenjem moždanih senzora. Stavljanjem EEG kacige studenti mogu pomicati noge i ruke ASIMO-a. Dosad su moguće četiri vrste pokreta ruku i glave. To bi moglo otvoriti vrata još jednom području umjetne inteligencije: roboti kontrolirani umom.

U nadolazećim desetljećima bit će moguće povećavati niz pokreta koje možemo kontrolirati u robotu, a dobivat ćemo i povratnu informaciju tako da ćemo moći "osjećati" svoje robotske ruke. Posebne naočale nam omogućuju da vidimo ono što robot vidi i da imamo potpunu kontrolu nad pokretima njegova tijela.

To će možda ublažiti problem nedovoljne imigracije u Japanu. Radnici će biti raspoređeni posvuda u državi, a ipak će moći kontrolirati robote udaljene tisućama kilometara pomoću moždanih senzora. Internet neće služiti prenašanju misli tzv. bijelih ovratnika (administrativnih radnika), nego i plavih ovratnika (manualnih radnika) čije će misli upravljati fizičkim pokretima robota. To će značiti da će roboti biti rješenje mnogih zemalja u borbi s eksplozijom zdravstvenih troškova i manjkom radnika.

Kontroliranje robota pomoću daljinskoga upravljanja imat će i drugih primjena. U svim opasnim okolnostima (pod vodom, blizu električne struje ili u požaru) roboti će služiti u akcijama spašavanja. Podvodni bi roboti mogli biti spojeni s ljudskim upravljačem. Budući da će surogati imati nadljudsku snagu, moći će poslužiti u borbi protiv kriminala (osim ako i kriminalci ne budu imali super snažne surogate). Imali bismo sve prednosti stapanja s robotima, a da uopće ne zadiremo u naša tijela.

Takav će se razvoj pokazati korisnim za vođenje svemirskih istraživanja, kad budemo morali upravljati bazom na Mjesecu. Naši će surogati moći izvoditi sve opasne zadatke održavanja svemirske baze, dok su astronauti na sigurnome na Zemlji. Astronauti će imati nadljudsku snagu i moći robota dok budu istraživali opasne vanzemaljske krajolike. (To ne može funkcionirati u slučaju da su astronauti na Zemlji i kontroliraju surogate na Marsu, jer radio signalu treba 40 min da dođe do Marsa i nazad. Mogli bi, ipak, sjediti u svemirskoj bazi na Marsu i upravljati surogatima koji bi izvodili opasne zadatke na Marsovoj površini.)

DOKLE ĆE IĆI STAPANJE S ROBOTIMA?

Jedan od prvaka robotike, Hans Moravec, zamišlja krajnju inačicu te ideje: mi ćemo postati samim robotima koje stvaramo. Objasnio mi je kako bismo mogli provesti stapanje operacijom mozga kojom bismo zamijenili svaki neuron našega mozga tranzistorom u robotu. Operacija počinje kad legnemo pored robota bez mozga. Robot kirurg uzima svaku nakupinu sivoga tkiva u našem mozgu, kopira ga tranzistor po tranzistor, spoji neurone s tranzistorima i umeće tranzistore u praznu robotsku lubanju. Kako se pojedina nakupina neurona kopira u robota, odbacuje se staro tkivo. Potpuno smo svjesni za vrijeme operacije. Dio našeg mozga je unutar staroga tijela, a dio je sačinjen od tranzistora i potpuno prenesen u tijelo robota. Ne samo da imamo tijelo robota, nego i imamo prednosti robota: besmrtnost i savršen izgled. To neće biti moguće u 21. stoljeću, ali će postati mogućnost u 22. stoljeću.

U krajnjem se scenariju rješavamo u potpunosti svojih tijela i razvijamo u neku vrstu programske podrške koja određuje našu osobnost. Premještamo našu čitavu osobnost u računalo.

Ako netko pritisne tipku s vašim imenom, računalo se ponaša kao da ste vi u njemu, jer je zapamtilo sve vaše osobne hirove i sklonosti. Postajemo besmrtni, ali provodimo život zarobljeni unutar računala općeći s drugim "ljudima" (to jest, drugim programima) u ogromnom kibernetičkom prostoru/virtualnoj stvarnosti. Naša će se tjelesna egzistencija dokinuti i biti zamijenjena kretanjem tisuća elektrona u divovskom računalu. U takvoj perspektivi, naša je krajnja sudbina završiti kao nizovi kôda u ogromnom računalnom programu sa svim prividnim osjećajima fizičkih tijela koja će plesati u virtualnome raju. Proživljavat ćemo duboke misli drugih nizova kôda u tome programu i živjeti ovu veliku iluziju. Radit ćemo velike i herojske podvige osvajanja novih svjetova zaboravljajući da smo samo elektroni koji plešu unutar velikoga računala. Do trenutka dok netko ne stisne tipku za gašenje.

Problem s takvim scenarijima jest načelo špiljskoga čovjeka. Kao što smo ranije spomenuli, arhitektura našega mozga je nastala prije 100 000 godina u Africi kod primitivnih lovaca-sakupljača. Naše najdublje želje, naši porivi i naši zahtjevi iskovani su u afričkim stepama dok smo bježali od grabežljivaca, lovili za zabavu, sakupljali plodove u šumi, tražili partnere ili se zabavljali uz logorsku vatru.

Jedna je od glavnih naredbi, duboko zakopanih u našim mislima, izgledati lijepo, osobito suprotnome spolu i vršnjacima. Ogroman dio naših prihoda, nakon zabave, trošimo na svoj izgled. Zato su eksplodirala tržišta plastične kirurgije, Botoxa, kozmetičkih proizvoda, otmjene odjeće, kao i učenja novih plesnih koraka, tjelovježbe, kupovanja najnovije glazbe i ostajanja u formi. Kad se sve to zbroji dobivamo ogroman dio potrošnje koja pokreće velik dio ekonomije SAD-a.

To znači da ćemo odustati od besmrtnosti i mogućnosti da stvorimo savršena tijela, jer ćemo izgledati kao roboti i imati umetke u svojim glavama. Nitko ne želi izgledati kao lik iz znanstvenofantastičnih filmova. Ako ćemo imati poboljšana tijela, ona moraju biti privlačna suprotnome spolu i vršnjacima, inače ćemo ih odbaciti. Koji srednjoškolac želi biti poboljšan, ali ne biti cool?

Neki su pisci znanstvene fantastike uživali u ideji da ćemo postati odvojeni od svojih tijela i da ćemo postojati kao bića čiste inteligencije i živjeti unutar nekoga računala promišljajući duboke misli. Tko bi, međutim, želio živjeti tako? Možda naši potomci neće htjeti rješavati diferencijalne jednadžbe koje opisuju crnu rupu. U budućnosti će ljudi možda željeti slušati rock glazbu na stari dobri način, a ne računati pokrete subatomskih čestica živeći u računalu.

Greg Stock sa Sveučilišta UCLA smatra da ima tek nekolicina prednosti spajanja mozga na računalo. On kaže: "Kad razmišljam koje bih prednosti mogao imati od spajanja svoga mozga na super-računalo, ne uspijevam ako inzistiram na dvama kriterijima: da ista korist ne može biti postignuta nekom drugom, neinvazivnom procedurom i da korist mora biti vrijedna neugodnosti operacije mozga."

Postoje znači mnoge mogućnosti za razvoj u budućnosti. Ja osobno vjerujem da je najizgledniji put razvoj dobroćudnih i prijateljskih robota, povećati naše sposobnosti u određenoj mjeri, ali i poštovati načelo špiljskoga čovjeka. Prihvatit ćemo ideju da povremeno živimo život u tijelima super-robota pomoću surogata, ali ćemo se opirati ideji da stalno živimo unutar računala ili da promijenimo svoja tijela do neprepoznatljivosti.

PREPREKE DO SINGULARNOSTI

Nitko ne zna kad će roboti postati pametni kao ljudi. Osobno bih stavio taj trenutak na kraj

stoljeća iz više razloga.

Kao prvo, čudnovati napredak računalne tehnologije počiva na Mooreovom zakonu. Taj napredak bi se mogao usporiti i čak stati oko 2020. – 2025., tako da nije jasno možemo li pouzdano izračunati brzinu računala iza toga datuma. (Vidi četvrto poglavlje za više o postsilicijskom razdoblju.) U ovoj sam knjizi pretpostavio da će računalna snaga rasti, ali sporijim tempom.

Kao drugo, premda računalo može izračunavati fantastičnom brzinom poput 1016 računskih operacija u sekundi, ne znači da je pametnije od nas. Deep Blue, IBM-ovo računalo, moglo je izračunavati 200 milijuna pozicija u sekundi i tako pobijediti svjetskoga šahovskoga prvaka. Deep Blue, usprkos svoj svojoj brzini i sirovoj snazi, ne može raditi ništa drugo. Prava inteligencija je mnogo više od izračunavanja šahovskih pozicija.

Primjerice, autistični genijalci mogu postići čudesne podvige u pamćenju i računanju. Međutim, imaju poteškoće s vezanjem cipela, dobivanjem posla ili funkcioniranjem u društvu. Pokojni Kim Peek, prema čijem životu je snimljen film Kišni čovjek, zapamtio je svaku riječ u 12 000 knjiga koje je pročitao i mogao je izvoditi račune koje je samo računalo moglo provjeriti. Imao je IQ 73, imao je problema u razgovoru i trebao je neprestanu pomoć da preživi. Bez očeve pomoći bio je bespomoćan. Drugim riječima, iznimno brza računala budućnosti bit će poput tih autističnih erudita koji su sposobni zapamtiti velike količine podataka, ali ne mogu preživjeti u stvarnom svijetu.

Čak kada računala počnu dostizati brzinu računanja mozga, i dalje će im nedostajati potrebna programska podrška kako bi mogli raditi druge stvari. Dostizanje brzine mozga tek je skromni početak.

Kao treće, čak i ako su inteligentni roboti mogući, nije jasno hoće li oni moći napraviti kopiju koja je pametnija od njih. Matematiku na kojoj počivaju samoreproducirajući roboti razvio je matematičar John von Neumann. On je razvio teoriju igre i pomogao je da se razvije elektroničko računalo. Prvi je načeo pitanje određivanja minimalnog broja pretpostavki prije negoli stroj bude u stanju napraviti kopiju samoga sebe. Nije, međutim, nikada dotakao piranje mogu li roboti napraviti kopiju inteligentniju od sebe. U biti, sama definicija riječi "pametan" je problematična, s obzirom na to da nema općeprihvaćene definicije.

Naravno da bi robot mogao napraviti poboljšanu inačicu sebe povećanjem broja čipova i brzine, ali ne znači li to da je kopija samo brža? Stroj za računanje je milijune puta brži u izračunavanju, ima više memorije i brzine obrade, ali nije nimalo pametniji. Tako da inteligencija znači više od pamćenja i brzine.

Kao četvrto, možda će strojna oprema računala rasti eksponencijalno, ali programska podrška ne mora slijediti taj trend. Strojna oprema raste zbog sposobnosti urezivanja sve manjih tranzistora na silicijsku ploču, s programskom podrškom je posve drugačije. Ona zahtijeva da čovjek sjedne za stol s papirom i olovkom u ruci i zapiše kod. Ovdje je usko grlo – čovjek.

Programska podrška, kao i sve ljudske kreativne aktivnosti, napreduje neravnomjernim koracima. Postoje trenutci briljantnih uvida i duga razdoblja tapkanja u mraku i stagnacije. Za razliku od jednostavnog urezivanja sve više tranzistora u silicij, koji raste poput satnog mehanizma, programska podrška ovisi o nepredvidivoj prirodi ljudske kreativnosti i hirovitosti. Stoga sva predviđanja o ravnomjernom i eksponencijalnom rastu računala moraju biti ublažena i nijansirana. Lanac nije snažniji od svoje najslabije karike, a najslabija karika je programiranje koje

izvode ljudi.

Napredak u inženjeringu često raste eksponencijalno, pogotovo kad se radi o jednostavnom postizanju veće djelotvornosti poput urezivanja sve više i više tranzistora na silicijsku ploču. Kad se, međutim, vraćamo temeljnome istraživanju koje zahtijeva sreću, vještinu i neočekivane udare genija, napredak nalikuje "isprekidanoj ravnoteži" s dugim razdobljima kad se ništa ne događa i s naglim prodorima koji mijenjaju čitav teren. Kad promotrimo povijest istraživanja, od Newtona do Einsteina i do današnjega dana, vidjet ćemo da isprekidana ravnoteža točno opisuje način na koji je postignut napredak.

Peto, kao što smo vidjeli u istraživanju reinženjeringu mozga, ogromni trošak i veličina projekta vjerojatno će odgoditi stvar do sredine stoljeća. Tad bi se još nekoliko desetljeća moralo posvetiti uvođenju reda u ogromnu količinu podataka, što će odgoditi reinženjering mozga za kraj stoljeća.

Šesto, vjerojatno neće biti "velikoga praska" u kojem će strojevi odjednom dobiti svijest. Kad u svijest ubrojimo sposobnost stvaranja budućih planova simuliranjem budućnosti, tad postoji čitav spektar svijesti. Strojevi će pomalo rasti na ovoj ljestvici ostavljajući nam dovoljno vremena da se pripremimo. To će se zbiti prema kraju stoljeća tako da će biti mnogo vremena da se rasprave različite mogućnosti. Strojevi će vjerojatno imati neke svoje osobitosti, oblik "silicijske svijesti" koja će se prva razviti.

To povlači drugo pitanje. Premda postoje mehanički načini poboljšanja našega tijela, postoje i biološki načini. U stvari, čitav potisak evolucije je odabir boljih gena, stoga zašto ne skratiti milijune godina evolucije i preuzeti kontrolu nad našom genetskom sudbinom?

3. BUDUĆNOST MEDICINE

Više od savršenstva

Nitko nema hrabrosti da to kaže, ako možemo poboljšati ljudska bića dodavanjem gena, zašto ne bismo?

— JAMES WATSON, DOBITNIK NOBELOVE NAGRADE

Mislim da naše tijelo neće više sakrivati tajne do kraja ovoga stoljeća. Tako da će se sve što možemo smisliti vrlo vjerojatno i ostvariti.

— DAVID BALTIMORE, DOBITNIK NOBELOVE NAGRADE

Mislim da još nije došlo vrijeme, ali nije ni daleko. Bojim se da pripadam nažalost posljednjoj generaciji koja će umrijeti.

— GERALD SUSSMAN

Mitološki bogovi su posjedovali moć nad životom i smrti i sposobnost da liječe bolesne i produže život. U našim molitvama najviše prednjače želje za ozdravljenjem od bolesti.

U grčkoj i rimskoj mitologiji postoji pripovijest o Aurori, predivnoj božici zore. Jednoga dana zaljubila se u lijepoga smrtnika Titona. Ona je imala savršeno tijelo i bila je besmrtna, ali je Titonu bilo suđeno da ostari i umre. Odlučna da spasi svoga ljubavnika od zle sudbine, preklinjala je Zeusa, oca bogova, da odobri Titonu dar besmrtnosti da provedu vječnost zajedno. Smilovavši se nad tim ljubavnicima, uslišao je Aurorinu želju.

Aurora je u hitnji zaboravila pitati da mu podari i vječnu mladost. Tako je Titon postao besmrtan, ali je njegovo tijelo starjelo. Nesposoban da umre, postajao je sve više oronuo i vječno je živio u boli i patnji.

To je izazov koji stoji pred znanošću 21. stoljeća. Znanstvenici čitaju knjigu života, potpuni ljudski genom koji nam obećava čudesne napretke u razumijevanju starenja. Vječni život bez zdravlja i snage može biti vječna kazna, kao što je otkrio Titon.

Do kraja stoljeća imat ćemo velik dio te moći nad životom i smrti. Koristit će se za liječenje

bolesnih, poboljšavanje ljudskoga tkiva i stvaranje novih životnih oblika. To se neće ostvariti molitvama i bajalicama nego čudom biotehnologije.

Jedan od znanstvenika koji otkrivaju tajne života je Robert Lanza, vrlo zauzet čovjek. On spada u novu generaciju biologa, mlad, energičan i pun svježih ideja – toliko otkrića koje treba ostvariti u toliko malo vremena. Lanza jaše na čelu biotehnološke revolucije. Poput djeteta u slastičarnici uživa u prodiranju u neistražena područja i ostvaruje epohalna otkrića u širokom rasponu škakljivih područja.

Prije generaciju ili dvije ritam je bio mnogo drugačiji. Mogli ste naići na biologe koji dokono istražuju nepoznate crve i kukce, strpljivo istražuju njihovu detaljnu anatomiju i mozgaju koji im latinski naziv nadjenuti.

Ne i Lanza.

Susreo sam ga jednoga dana u radijskom studiju i smjesta sam bio impresioniran njegovom mladošću i neograničenom kreativnošću. Kao i obično, žurio je od jednog do drugog pokusa. Rekao mi je da je krenuo u to brzo razvijajuće područje istraživanja na posve neobičan način. Odrastao je u skromnoj radničkoj obitelji s juga Bostona. Dok je bio u srednjoj školi, doznao je za odgonetavanje DNA. Bio je fasciniran. Odlučio se na znanstveni projekt: kloniranje kokoši u vlastitoj sobi. Njegovi roditelji nisu znali što radi, ali su mu dali svoj blagoslov.

Odlučan da pokrene svoj projekt, pošao je na Harvard da dobije savjet. Budući da nije poznavao nikoga, upitao je nekoga čovjeka za koga je mislio da je vratar da ga uputi na nekoga. Vratar ga je zainteresirano poveo u svoj ured. Lanza je kasnije saznao da je vratar zapravo bio jedan od starijih istraživača u laboratoriju. Impresioniran nevjerojatnom smionošću tog hrabrog mladog srednjoškolca, predstavio je Lanzu ostalim znanstvenicima među kojima su bili mnogi vrijedni Nobelove nagrade. To je promijenilo njegov život. Lanza se uspoređuje s ulogom Matta Damona u filmu Dobri Will Hunting u kojemu poderani, snalažljivi klinac iz radničke obitelji zapanji profesore na MIT-ju svojim vrtoglavim matematičkim genijem.

Danas je Lanza glavni znanstveni službenik u kompaniji Advanced Cell Technology, a objavio je stotine članaka i otkrića. Dospio je na sve naslovnice novina 2003. kad ga je Zoološki vrt San Diega zamolio da klonira bantenga, javanskoga vola, ugroženu vrstu i to iz tijela jedinke koja je umrla prije 25 godina. Lanza je uspješno izdvojio iskoristive stanice iz kostura, obradio ih i poslao na farmu u državi Utah. Ondje, je oplođena stanica usađena u ženku krave. Deset mjeseci kasnije javili su mu da je njegova najnovija kreacija rođena. Drugim danima radi na "inženjeringu tkiva" koji bi trebao ponuditi inventar ljudskoga tijela iz kojega ćemo moći naručiti nove organe, uzgojene iz naših vlastitih stanica da zamijene bolesne ili istrošene organe. U drugo vrijeme opet radi na kloniranju ljudskih stanica u zametku. Bio je dio povijesne skupine koja je klonirala prvi ljudski zametak u cilju stvaranja embrionalnih matičnih stanica.

TRI RAZDOBLJA MEDICINE

Lanza jaše na plimnome valu otkrića kojega je stvorilo otkriće strukture ljudske DNA. Medicina je kroz povijest prošla kroz najmanje tri razdoblja. U prvome razdoblju koje je trajalo desecima tisuća godina, medicinom je dominiralo praznovjerje, vračarstvo i rekla-kazala. Većina djece umirala je pri porodu, a očekivana je životna dob bila između 18 i 20 godina. Pronađene su neke ljekovite trave i kemikalije tijekom toga razdoblja (poput aspirina), ali većinom nije postojao sustavan način otkrivanja novih terapija. Nažalost, svaki lijek koji je uistinu djelovao čuvan je u

tajnosti. “Liječnik” je zarađivao liječenjem bogatih pacijenata i bilo mu je stalo da njegove smjese i balzami ostanu tajni.

U tome razdoblju jedan je od osnivača klinike Mayo pisao osobni dnevnik dok je išao u vizitu pacijentima. U svome je dnevniku iskreno zapisao da postoje samo dva sastojka u njegovoj torbi koji zaista djeluju: pila i morfin. Pilom su se odstranjivali bolesni udovi, a morfin je korišten da se umrtvi bol amputacije. To je djelovalo svaki puta. Sve ostalo u njegovoj torbi bilo je dvojbeno.

Drugo je razdoblje medicine počelo u 19. stoljeću kad se pojavila teorija bacila i bolja zdravstvena njega. Deseci tisuća vojnika ginuli su na bojištima Prvoga svjetskoga rata i postojala je stvarna potreba da liječnici izvode prave pokuse koji se mogu ponoviti s dobrim rezultatima te su kasnije bili objavljivani u medicinskim časopisima. Europski kraljevi su bili užasnuti što su njihovi najbistriji i najbolji sinovi ginuli te su tražili prave rezultate, a ne fraze. Liječnici više nisu pokušavali ugoditi moćnicima, nego su tražili slavu i legitimitet objavljivanjem rezultata u časopisima koje su čitale njihove kolege. To je pokrenulo napretke u antibioticima i injekcijama koji su produžili očekivano životno doba na 70 godina i više.

Treće je razdoblje medicine molekularna medicina. Gledamo na djelu stapanje fizike i medicine i svođenje medicine na atome, molekule i gene. Povijesna se transformacija dogodila 1940-ih kad je austrijski fizičar Erwin Schrödinger, jedan od otaca kvantne teorije, napisao utjecajnu knjigu Što je život? U njoj je odbacio ideju nekog tajanstvenoga duha ili životne sile koja oživljuje neživa bića. Umjesto toga, pretpostavio je da je čitav život utemeljen na nekom obliku kôda koji je upisan u molekuli. Pretpostavio je da bi pronalaskom te molekule bilo moguće razotkriti tajnu života. Fizičar Francis Crick, nadahnut Schrödingerovom knjigom, udružio se s genetičarom Jamesom Watsonom u dokazivanju da je DNA ta famozna molekula. Jedno od najvažnijih otkrića svih vremena dogodilo se 1953. kad su Watson i Crick dešifrirali strukturu DNA – dvostruka spirala. Kad se ova spirala razvije, samo je jedan sloj DNA dug oko 2 metra. Na njemu se nalazi slijed od 3 milijarde nukleinskih kiselina, nazvanih A, T, C, G (adenin, timin, citozin i gvanin), koje nose kod. Čitanjem preciznoga slijeda nukleinskih kiselina smještenih unutar molekule DNA, možemo čitati knjigu života.

Munjeviti napredak u molekularnoj genetici vodio je do stvaranja projekta Human Genome, povijesnog trenutka u povijesti medicine. Ogroman financijski program koji bi sekvencionirao sve gene ljudskoga tijela koštao je oko 3 milijarde dolara, a uključivao je suradnju stotina znanstvenika diljem svijeta. Kad je bio dovršen 2003. godine, označio je početak novoga razdoblja u znanosti. Uskoro će svatko imati svoj osobni genom dostupan na CD-u. Imat ćemo popis svih naših 25 000 gena. Bit će to naše “upute za rukovanje”.

Dobitnik Nobelove nagrade David Baltimore je sažeo sve to rekavši: “Biologija je danas informacijska znanost.”

BLISKA BUDUĆNOST (DO 2030.)

GENOMSKA MEDICINA

Pokretna su sila tih medicinskih otkrića kvantna teorija i računalna revolucija. Kvantna teorija nam je dala začudno detaljne modele uređenja atoma u svakome proteinu i molekuli DNA. Znamo sagraditi životne molekule atom po atom. Sekvencioniranje gena postalo je automatski posao koji

obavljaju roboti. Na početku je sekvencioniranje gena u jednom ljudskom tijelu koštalo nekoliko milijuna dolara. Bilo je toliko skupo i dugotrajno da je samo nekolicina ljudi (među kojima i znanstvenici koji su usavršili tehnologiju) imala pročitan genom. Kroz nekoliko godina, ova će tehnologija biti dostupna običnim ljudima.

(Živo se sjećam konferencije krajem 1990-ih u Frankfurtu u Njemačkoj o budućnosti medicine. Ja sam pretpostavio da će do 2020. osobni genom biti dostupan u obliku CD-a ili čipa. Jedan od sudionika se nije slagao. Ustao je i kazao je da je taj san nemoguć. Postoji jednostavno previše gena i koštalo bi previše da se izradi genom svakoga pojedinca. Human Genome Project je koštao tri milijarde dolara; nije moguće da je trošak sekvencioniranja gena toliko pao. Kad sam kasnije razgovarao s njime, postupno je postalo jasno u čemu je bio problem. On je razmišljao linearno. Mooreov je zakon smanjio troškove, omogućio je sekvencioniranje DNA pomoću robota, računala i automatskih strojeva. Nije shvatio ogromni utjecaj Mooreova zakona na biologiju. Kad se danas prisjetim tog događaja, mislim da sam čak precijenio vrijeme koje će biti potrebno da se ponudi osobna genska slika.)

Inženjer sa Sveučilišta Stanford Stephen R. Quake usavršio je posljednje razvoje u sekvencioniranju gena. Spustio je troškove na 50 000 dolara, a predviđa da će cijena pasti na 1000 dolara kroz nekoliko godina. Znanstvenici odavno predviđaju da će se, kad cijena padne ispod 1000 dolara, otvoriti vrata masovnom sekvencioniranju gena i da će veliki dio ljudskoga roda imati koristi od nove tehnologije. Unutar nekoliko desetljeća, cijena sekvencioniranja gena mogla bi pasti na 100 dolara, čime bi bila jednaka cijeni običnog testiranja krvi.

(Ključ tog postignuća je u kretanju prečicom. Quake uspoređuje DNA ljudi koje testira s DNA ljudi koji su se već podvrgli testiranju. Razbija ljudski genom na jedinice DNA koje sadrže 32 bita informacije. Tada računalni program uspoređuje te 32-bitne fragmente s potpunim genomima drugih ljudi. Budući da ljudi imaju jednake DNA, razlike su manje od 0,1 posto, što znači da računalo brzo može pronaći identičan genom u bazi podataka.)

Quake je osma osoba u povijesti čiji je genom u potpunosti sekvenciran. Osobno mu je bilo važno da mu se skenira genom da provjeri svoju sklonost srčanim zatajenjima. Nažalost, njegov genom ukazuje na naslijeđenu inačicu gena povezanog sa srčanim bolestima. “Morate imati mnogo hrabrosti da pogledate u vlastiti genom”, žalio se.

Poznajem taj čudni osjećaj, jer sam i sam djelomice skenirao svoj genom i spremio ga na CD za BBC-TV/Discovery dokumentarac koji sam vodio. Liječnik mi je izvadio krv, poslao ju je u laboratorij na Sveučilištu Vanderbilt i dva tjedna kasnije mi je stigao poštom CD na kojem su pohranjene tisuće mojih gena. Držeći taj disk osjećao sam se čudno, jer sam znao da sadrži djelomični plan mojega tijela. U suštini, takav disk služi da se napravi razumna kopija nas samih.

Sve tajne mojega tijela bile su pohranjene na disku, a to je izazivalo znatiželju. Mogao sam provjeriti imam li gene koji povećavaju šanse za Alzheimerovu bolest. Bio sam zabrinut, jer je moja majka umrla od Alzheimera. (Srećom, nemam te gene.)

Četiri su moja gena pronađena kod tisuća ljudi diljem svijeta čiji je genom bio skeniran. Lokacija ljudi s identičnim genima postavljena je na zemljopisnu kartu. Analizom točaka na karti, mogao sam pratiti trag koji izvire blizu Tibeta, prolazi čitavu Kinu i dospijeva u Japan. Čudesno je da je trag točaka u stopu pratio obrasce migracija majčinih predaka prije više od 1000 godina. Moji preci nisu ostavili pisanih dokumenata, ali je njihova karta urezana u moju krv i DNA. (Možete također pronaći pretke svoga oca. Mitohondrijski geni se prenose nepromijenjeni s majke na kćer. Kromosom Y se prenosi s oca na sina. Analizom tih gena možete pratiti očevu ili majčinu

gensku baštinu.)

Zamišljam da će mnogi ljudi u budućnosti imati isti čudan osjećaj, dok budu držali plan svojih tijela u svojim rukama i dok budu čitali intimne tajne poput opasnih bolesti ili migracijskih obrazaca svojih predaka.

Znanstvenicima se otvaraju vrata nove discipline, bioinformatike ili korištenja računala za brzinsko skeniranje i obradu genoma tisuća organizama. Unošenjem genoma nekoliko stotina ljudi koji pate od iste bolesti mogli bismo precizno odrediti lokaciju oštećenoga DNA. Neki od najsnažnijih svjetskih računala koriste se u bioinformatici. Obrađuju milijune gena iz biljaka i životinja u potrazi za određenim ključnim genima.

To bi moglo iz temelja promijeniti i televizijske serije poput CSI-ja. Uzimanjem sićušnog uzorka DNA (iz dlaka, sline ili tragova krvi) moći ćemo odrediti ne samo boju kose i očiju, etničku pripadnost, visinu i anamnezu nego i izgled lica. Danas policijski crtači prave aproksimativnu skulpturu žrtvinoga lica koristeći ostatke lubanje. U budućnosti će računalo moći napraviti žrtvino lice od podataka uzetih iz prhuti ili krvi. (Činjenica da blizanci mogu imati nevjerojatno slična lica pokazuje da genetika, usprkos okolnim čimbenicima, može odrediti izgled ljudskoga lica.)

POSJETA LIJEČNIKU

Kao što smo ranije spomenuli, posjet liječničkoj ordinaciji mogao bi se iz temelja promijeniti. Kad budete pričali s liječnikom na zidnome ekranu, pričat ćete s računalnim programom. Vaša kupaonica će imati više senzora nego moderna bolnica. Detektirat će stanice raka godinama prije no što se razvije tumor. Primjerice, gotovo 50 posto svih običnih oblika raka povezano je s mutacijom gena P53 koja može biti otkrivena korištenjem tih senzora.

U slučaju dokaza za rak, nanočestice će biti unesene izravno u krvožilni sustav. Poput pametnih bombi dopremit će lijekove protiv raka izravno u stanice raka. Gledat ćemo na kemoterapiju kao na pijavice (Raspravljat ćemo o detaljima nanotehnologije, DNA-čipovima, nanočesticama i nanobotima u sljedećem poglavlju.)

Ako liječnik ne bude mogao izliječiti neku bolest ili ozljedu organa, jednostavno ćete uzgojiti drugi. U SAD-u oko 91 000 ljudi čeka na transplantaciju organa. Osamnaestoro umre svaki dan čekajući organe koji ne dolaze.

Kad vaš računalni liječnik nađe neku grešku, poput bolesnoga organa, naručit će novi organ od vaših stanica.

“Inženjering tkiva” je najnaprednije područje medicine i omogućuje stvaranje “trgovine ljudskoga tijela”. Odsada znanstvenici mogu uzgojiti kožu, krv, krvne žile, srčane klijetke, hrskavicu, kosti, nosove i uši u laboratoriju. Prvi veliki organ koji su uzgojili znanstvenici 2007. bio je mokraćni mjehur, a 2009. dušnik. Dosad su uglavnom reproducirali jednostavne organe sastavljene od nekoliko tipova tkiva i nekolicine struktura. U roku od pet godina ćemo uzgojiti jetru i gušteraču, što će imati ogromne posljedice na javno zdravstvo. Dobitnik Nobelove nagrade, Walter Gilbert, rekao mi je da predviđa da ćemo kroz nekoliko desetljeća moći uzgojiti praktički bilo koji organ u tijelu od stanica izvađenih iz samoga tijela.

U budućnosti ćemo imati trikordere – poput onih u Zvjezdanim stazama – koji mogu dijagnosticirati gotovo sve bolesti. To će omogućiti prijenosni detektori za magnetsku rezonanciju i DNA-čipovi.

Inženjering tkiva počinje vađenjem nekolicine stanica iz vašega tijela. Stanice se potom umeću u plastični kalup koji je poput spužve, u obliku organa koji se želi reproducirati. Plastični kalup je napravljen od biorazgradljive poliglikoličke kiseline. Stanice se tretiraju čimbenicima rasta da se stimulira njihov rast. Kad popune kalup, on se dezintegrira i ostavlja za sobom savršeni organ.

Imao sam prigodu posjetiti laboratorij na Sveučilištu Wake Forest u Sjevernoj Karolini koji vodi Anthony Atala. Hodajući kroz njegov laboratorij vidio sam boce s ljudskim organima. Vidio sam krvne žile, mokraćne mjehure, srčane klijetke koje su se neprestano otvarale i zatvarale, jer je tekućina prolazila kroz njih. Vidjevši sve ljudske organe u bocama, osjećao sam se kao da prolazim kroz laboratorij dr. Frankensteina, uz jednu bitnu razliku. U devetnaestom stoljeću liječnici nisu poznavali mehanizam odbijanja organa u tijelu koji onemogućava implantaciju organa. Liječnici nisu poznavali načine da smire infekcije koje se neizbježno javljaju nakon operacije. Atala, dakle, ne stvara čudovište nego otvara novo spasonosno područje medicinske tehnologije koje će jednoga dana izmijeniti medicinsku znanost.

Jedan je od njegovih ciljeva proizvesti jetru u roku od pet godina. Jetra nije toliko složena i sastoji se od nekolicine vrsta tkiva. Takve bi jetre mogle spasiti na tisuće života, posebice onih ljudi kojima je jetra prijeko potrebna. Mogla bi spasiti živote alkoholičara koji pate od ciroze. (Nažalost, poticat će ljude da održavaju loše navike, jer će znati da mogu dobiti zamjenske organe umjesto oštećenih.)

Budući da se već sada mogu proizvesti organi poput mokraćnoga mjehura i dušnik, što priječi znanstvenike da proizvedu svaki organ u tijelu? Temeljni je problem kako proizvesti tanke kapilare koje hrane stanice krvlju. Svaka stanica u tijelu mora biti u kontaktu s krvlju. K tome, postoji problem razvijanja složenih struktura. Bubrezi čiste krv od toksina, a sastoje se od milijuna filtara, tako da je kalup s takvim filtrima poprilično teško izvediv.

Najteži organ za proizvesti bit će ljudski mozak. Premda se rekreiranje ljudskoga mozga čini neizglednim za mnoga nadolazeća desetljeća, bit će moguće dodavati mlade stanice izravno u mozak koji će ih inkorporirati u moždanu neuronsku mrežu. Pacijent će morati iznova naučiti mnoge temeljne funkcije, ali budući da je mozak "plastičan" – to jest, neprestano se prespaja nakon što nauči novi zadatak – moći će integrirati nove neurone tako da se ispravno pale.

MATIČNE STANICE

Korak dalje je primjenjivanje tehnologije matičnih stanica. Dosad su se koristile stanice koje su bile posebno tretirane da bi se mogle razviti unutar kalupa. U bliskoj budućnosti će biti moguće izravno korištenje matičnih stanica.

Matične stanice su "majka svih stanica" i imaju sposobnost promjene u bilo koji tip tjelesne stanice. Svaka stanica u našem tijelu ima potpuni genetički kôd potreban da se kreira čitavo tijelo. Kad naše stanice stare, specijaliziraju se, jer mnogo gena nije aktivirano. Primjerice, premda naša stanica kože ima gene da se pretvori u krv, ti su geni isključeni kad embrionalna stanica postane odrasla stanica kože.

Embrionalne matične stanice zadržavaju sposobnost izrastanja u bilo koji tip stanice za vrijeme čitava života. Premda su embrionalne matične stanice iznimno cijenjene u znanstvenika, također su i kontroverzne, jer se mora žrtvovati zametak da bi se izvukle te stanice, a time se postavljaju etička pitanja. (Lanza i njegove kolege otkrili su načine da pretvore odrasle matične stanice u embrionalne matične stanice.)

Matične stanice imaju sposobnost liječenja cijelog niza bolesti poput dijabetesa, srčanih zatajenja, Alzheimera, Parkinsona, čak i raka. Teško je zamisliti bolest kod koje matične stanice ne bi igrale ključnu ulogu. Poseban je slučaj ozljeda kralježnice za koju se mislilo da je neizlječiva. Kad se 1995. ozlijedio slavni glumac Cristopher Reeve i zadobio tešku ozljedu kralježnice koja ga je u potpunosti paralizirala, nije postojao lijek. Učinjeni su veliki napori u popravljanju ozljeda kralježnice životinja pomoću matičnih stanica.

Stephen Davies sa Sveučilišta Colorado postigao je impresivne uspjehe u tretiranju ozljeda kralježnice štakora. Rekao je: "Proveo sam pokuse u kojima smo transplantirali odrasle neurone izravno u odrasli središnji živčani sustav. Pravi pravcati frankensteinski pokusi. Za divno čudo, odrasli neuroni uspjeli su poslati nova živčana vlakna s jedne strane mozga na drugu u samo tjedan dana." U liječenju kralježnice oduvijek se vjerovalo da će svaki pokušaj popravka živaca stvoriti veliku bol i tjeskobu. Davies je otkrio da ključna vrsta živčane stanice, nazvana astrocit, ima dvije inačice koje daju dva različita rezultata.

Davies kazuje: "Korištenje pravih astrocita u popravku ozljeda kralježnice daje rezultate bez boli. Druga vrsta astrocita izaziva bol, a ne daje rezultate. On vjeruje da bi iste tehnike mogle djelovati i na žrtvama kapi i Alzheimerove i Parkinsonove bolesti.

Budući da se gotovo svaka stanica u tijelu može stvoriti mijenjanjem embrionalnih matičnih stanica, mogućnosti su neograničene. Doris Taylor, ravnateljica Središta za kardiovaskularno liječenje na Sveučilištu Minnesota, upozorava da nam još uvijek preostaje mnogo posla. "Embrionalne matične stanice mogu biti dobre, loše i zle. Kad su dobre, mogu se proizvesti u laboratoriju u velikom broju i iskoristiti za stvaranje tkiva, organa ili dijelova tijela. Kad su loše, ne znaju kada stati s rastom i stvaraju tumore. Zle su, jer ne poznajemo sve njihove signale tako da ne možemo upravljati ishodom i nismo spremni za njihovu uporabu bez dodatnih istraživanja u

laboratoriju."

Jedan je od najveći problema pred istraživanjem matičnih stanica činjenica da, bez kemijskih signala iz okoline, one mogu nastaviti svoj rast dok ne postanu kancerogene. Znanstvenici shvaćaju da su suptilne kemijske poruke koje putuju između stanica i kazuju im kada i gdje rasti, a kada i gdje prestati rasti, jednako važne kao i same stanice.

Malen, ali istinski napredak ostvaren je na području izučavanja životinja. Taylor je dospjela na naslovnice 2008. kad je njezin tim proizveo srce miša. Njezin je tim krenuo od mišjeg srca. Rastavili su stanice unutar srca, ostavili kostur – maticu proteina u obliku srca. Zatim su unijeli mješavinu srčanih matičnih stanica u maticu i gledali kako se stanice razvijaju unutar kostura. Ranije su znanstvenici uspjeli proizvesti srčane stanice u Petrijevoj zdjelici. To je prvi put da su proizveli pravo srce u laboratoriju.

To je bilo posebno ostvarenje i za nju osobno. Rekla je: "Prekrasno. Možete vidjeti čitav krvožilni sustav, od arterija do sićušnih vena koje dostavljaju krv do svake stanice u srcu."

Jedan je dio Vlade SAD-a zainteresiran za napretke na području inženjeringa tkiva: vojska SAD-a. U prošlim je ratovima stopa smrtnosti bila zastrašujuća. Čitave trupe i postrojbe bile su desetkovane, a mnogi su umirali od rana. Danas skupine za brzu evakuaciju lete po bojištima Iraka i Afganistana u Europu ili SAD, gdje primaju prvorazrednu zdravstvenu pomoć. Stopa preživljavanja vojnika poletjela je u nebo. Isto se dogodilo i s brojem vojnika koji su izgubili ruku ili nogu. Vojska SAD-a je odredila za prioritet pronalaženje načina za ponovno izrastanje udova.

Napredak je postignut radikalno novom metodom izrastanja organa na Institutu za regenerativnu medicinu Oružanih snaga. Znanstvenici su oduvijek znali da daždevnjaci imaju zadivljujuću sposobnost regeneracije i da im izrastaju čitavi udovi. Udovi im izrastaju jer su daždevnjakove matične stanice stimulirane da proizvedu nove udove. Stephen Badylak sa Sveučilišta Pittsburgh uspješno je obnovio vrhove prstiju. Njegov tim je stvorio "vilenjački prah" s magičnom moći regeneracije tkiva. Ova se prašina ne pravi od stanica nego od izvanstanične matice koja postoji između stanica. Matica je važna, jer sadrži signale koji govore matičnim stanicama na koji način da narastu. Kad se primijeni vilenjački prah na odsječeni vrh prsta, naraste ne samo prst nego i nokat i nastaje gotovo savršena kopija izvornoga prsta. Na taj način naraslo je malo manje od 1 cm tkiva i nokta. Daljnji je cilj primijeniti taj proces na čitave ljudske udove.

KLONIRANJE

Možemo li učiniti da naraste čitavo ljudsko biće prema točnoj kopiji? Odgovor je da, u načelu, ali se još nije uspjelo u tome usprkos mnogobrojnim izvješćima koja tvrde suprotno.

Klonovi su obično omiljena tema u filmovima, ali oni obično shvate znanost naopako. U filmu Šesti dan, Arnold Schwarzenegger se bori protiv negativaca koji su savladali umijeće kloniranja ljudi. Što je još važnije, svladali su umijeće kopiranja sjećanja koje umeću u klonove. Kada Schwarzenegger ukloni jednog negativca, pojavi se novi s istom osobnošću i s istim sjećanjima. Stvari se zakompliciraju kada shvati da je napravljen klon od njegovih stanica bez njegova znanja. (U stvarnosti se kod kloniranja životinja ne kloniraju i sjećanja.)

Ideja kloniranja je zauzela svjetske naslovnice 1997. kad je Ian Wilmut na Institutu Roslin sa Sveučilišta Edinburgh klonirao ovcu Dolly. Uzeo je stanicu iz odrasle ovce, izdvojio DNA iz njene jezgre i potom je ubrizgao u jajčanu stanicu. Wilmut je ostvario podvig stvaranja genetske

kopije originala. Pitao sam jednom zgodom je li svjestan medijske oluje koju će izazvati svojim povijesnim otkrićem. Odgovorio je – ne. Jasno je razumio medicinsku važnost svoga djela, ali je podcijenio fascinaciju javnosti njegovim postignućem.

Uskoro su skupine diljem svijeta krenule njegovim stopama i klonirale široki spektar životinja poput miševa, mačaka, svinja, pasa, konja i stoke. Jednom sam zgodom posjetio Rona Marquessa na njegovoj farmi pokraj Dallasa u okviru BBC dokumentarnoga filma. Na najvećem ranču s kloniranim životinjama u državi, bio sam fasciniran kad sam vidio prvu, drugu i treću generaciju klonirane stoke – klonove klonova klonova. Marquess mi je rekao da će morati izmisliti nove riječi da budu u stanju pratiti različite generacije klonirane stoke.

Jedna skupina stoke mi je zapela za oko. Bilo ih je osmero identičnih blizanaca poredanih u red. Hodali su, jeli i spavali poredani u red. Premda grla nemaju pojam o tome da su klonovi, instinktivno su se povezali i oponašaju međusobne pokrete.

Marquess mi je rekao da je kloniranje stoke potencijalno vrlo isplativ posao. Ako imate bika sa superiornim fizičkim obilježjima, moći ćete dobiti zavidnu svotu novaca ako ga date za rasplod. Kad bi bik krepao, njegov bi genetski kod bio izgubljen. Kloniranjem bi se genetski kod izvrsnih bikova mogao sačuvati zauvijek.

Kloniranje ima jasnu komercijalnu primjenu za uzgajanje životinja, no implikacije za ljude nisu posvema jasne. Premda je bilo glasina da je uspješno izvedeno kloniranje čovjeka, sve su vjerojatno lažne. Dosad još uvijek nitko nije uspio klonirati primate, a kamoli čovjeka. Samo kloniranje životinja pokazalo se poprilično teškim, s obzirom na to da za svako uspješno kloniranje trebaju stotine neuspjelih zametaka.

Čak i ako kloniranje ljudi postane moguće, postoje društvene prepreke. Prije svega, mnoge religije će se usprotiviti kloniranju čovjeka, kao što se Katolička crkva suprotstavila bebama iz epruvete 1978., kad je rođena Louise Brown, prvo dijete začeto in vitro. Najvjerojatnije će se izglasati zakoni koji će braniti novu tehnologiju ili će je barem usko ograničiti. S druge strane, komercijalna potražnja za ljudskim kloniranjem bit će malena. U najboljem slučaju, samo će maleni dio ljudskoga roda biti klonirani ljudi, ako to i bude legalizirano. Na kraju krajeva, već imamo klonove u obliku identičnih blizanaca (i trojki), tako da će novost oko ljudskoga kloniranja polako jenjavati.

Isprva je potražnja za djecom iz epruvete bila vrlo velika, budući da postoji ogroman broj neplodnih parova. No tko bi želio klonirati čovjeka? Možda roditelji koji oplakuju smrt djeteta. Kakav bogati, stariji čovjek na samrti koji nema nasljednika – ili nema nasljednika do kojih mu je stalo – i želi prenijeti sav svoj novac sebi kao djetetu s ciljem da krene ponovno.

U budućnosti će, čini se, klonovi ipak postojati, premda će postojati i zakoni koji će ih regulirati. Klonovi će predstavljati malen odjeljak ljudskoga roda i društvene posljedice će biti malene.

GENSKA TERAPIJA

Francis Collins, sadašnji ravnatelj Nacionalnih zdravstvenih instituta i čovjek koji je vodio vladin povijesni Human Genome Project, rekao mi je da "svi mi imamo nekolicinu gena koji su prilično pokvareni". U prošlosti smo jednostavno morali patiti od tih smrtonosnih genetskih defekata. U budućnosti ćemo, rekao mi je, liječiti mnoge nedostatke genskom terapijom.

Genetska oboljenja su opsjedala čovječanstvo od najranije povijesti, a u ključnim trenutcima su čak utjecala na tijek povijesti. Primjerice, zbog reprodukcije unutar bliskih obiteljskih krugova u kraljevskim obiteljima Europe, genetske su se bolesti raširile poput kuge među plemstvom. Đuro III., engleski kralj, najvjerojatnije je patio od akutne povremene porfirije koja je prouzrokovala privremene napade ludila. Neki su povjesničari spekulirali da je to utjecalo na njegov odnos prema kolonijama i da je to potaknulo SAD da proglase svoju neovisnost od Engleske 1776. godine.

Kraljica Viktorija je bila nositeljica gena hemofilije, koja uzrokuje nekontrolirano krvarenje. Imala je devetero djece, a mnoge je poudavala u kraljevske kuće diljem Europe, tako se raširila "kraljevska bolest". U Rusiji je Viktorijin prapraunuk Aleksej, sin Nikole II., patio od hemofilije koju je mogao kontrolirati samo mistik Rasputin. Taj je "ludi monah" stekao dovoljno moći da paralizira rusko plemstvo, odgodi iznimno potrebne reforme i pomogao da se izazove Boljševička revolucija 1917. godine.

U budućnosti će genska terapija liječiti mnoge od 5000 poznatih genskih bolesti poput cistične fibroze (koja napada sjeverne Europljane), bolesti Tay-Sachsa (koja zahvaća istočnoeuropske Židove) i anemije srpastih stanica (koja napada Amerikance afričkoga podrijetla). Moći će se liječiti mnoge bolesti koje nastaju mutacijom jednoga gena.

Genska terapija dolazi u dva oblika: somatskom i metodom klica.

Somatska genska terapija uključuje popravljanje pokvarenih gena kod pojedinca. Terapeutska vrijednost nestaje kad pojedinac umre. Kontroverznija je genska terapija klicama u kojoj se popravljaju geni spolnih stanica tako da popravljeni gen može prijeći na sljedeću generaciju.

Liječenje genetskih bolesti slijedi dugi i dobro utvrđeni put. Prvo se moraju pronaći žrtve genetskih oboljenja i zatim mučno istražiti genealoško stablo mnogo generacija unazad. Obradom gena tih pojedinaca, možemo pokušati precizno locirati gene koji su oštećeni.

Uzme se zdrava inačica gena, umetne u "vektor" (obično bezopasni virus) i uštrca u pacijenta. Virus ubrzo usadi "dobar gen" u stanice pacijenta. Do 2001. u svijetu je bilo već 500 pokušaja genskih terapija u tijeku ili u statusu provjeravanja rezultata.

Bilo kako bilo, napredak je bio spor i dao je dvoznačne rezultate. Problem je u tome što tijelo često pomiješa bezopasni virus s "dobrim genom" s opasnim virusom i krene u napad. To proizvodi nuspojave koje mogu prekinuti djelovanje dobroga gena. Drugi je problem što maleni broj virusa uspijeva ispravno ubrizgati dobar gen u ciljane stanice tako da tijelo ne uspijeva proizvesti dovoljno vlastitoga proteina.

Usprkos tim poteškoćama, francuski su znanstvenici 2000. objavili da su u stanju liječiti djecu s teškim oblikom kombinirane imunodeficijencije (SCID), to jest, djecu koja su rođena bez imunološkoga sustava koji funkcionira. Neki SCID pacijenti, poput "Davida, dječaka iz balona", moraju biti unutar sterilnoga balona do kraja života. Bez imunološkoga sustava svaka bolest može biti fatalna. Genetske analize pokazuju da su njihove imunološke stanice uistinu inkorporirale novi gen i tako aktivirale imunološki sustav.

Bilo je, međutim, i smetnji. Na Sveučilištu Pennsylvania je preminuo 1999. jedan pacijent u pokusu genske terapije, što je izazvalo ispitivanje savjesti unutar medicinske zajednice. Bila je to prva smrt od 1100 pacijenata koji prolaze gensku terapiju. Do 2007. četvoro od sedmoro pacijenata koji su bili izliječeni od posebne vrste SCID-a razvilo je leukemiju. Istraživanje u genskoj terapiji SCID-a usredotočuje se na liječenje bolesti bez da se slučajno izazove gen koji

uzrokuje rak. Do današnjega dana 17 je pacijenata uspješno ozdravilo i od SCID-a, a nisu razvili rak, što je jedan od rijetkih uspjeha na tom području.

Jedna od meta genske terapije jest upravo rak. Gotovo 50% svih uobičajenih rakova povezano je s oštećenjem gena P53. Taj je gen dugačak i složen i time se povećavaju šanse da se ošteti kemijskim ili čimbenicima iz okoliša. Mnoge se genske terapije sastoje u pokušaju ubrizgavanja zdravoga P53 gena u pacijente. Dim cigarete uzrokuje karakteristične mutacije na tri poznate lokacije unutar P53 gena. Zamjenom oštećenih gena P53 moći ćemo uskoro liječiti neke oblike raka pluća.

Napredak je bio spor, ali konstantan. Na Nacionalnom zdravstvenom institutu u Marylandu 2006. znanstvenici su uspješno tretirali metastazirajući melanom, oblik raka kože, mijenjanjem citotoksičnih T stanica tako da napadaju stanice raka. To je prvo istraživanje koje je dokazalo da se genska terapija može uspješno primijeniti protiv nekih oblika raka. Liječnici s University Collegea i pri bolnici Moorfields Eye u Londonu su 2007. koristili gensku terapiju za liječenje jednoga oblika nasljednoga oboljenja mrežnice (koji uzrokuje mutacija gena RPE65).

U međuvremenu neki parovi ne čekaju na gensku terapiju nego uzimaju svoje genetsko nasljeđe u svoje ruke. Par može proizvesti nekolicinu oplođenih zametaka koristeći oplodnju in vitro. Svaki se zametak može testirati na genetske bolesti, a par može izabrati zametak koji nema genetska oboljenja za implantaciju u majku. Tako se mogu ukloniti genetska oboljenja bez korištenja skupih tehnika genske terapije. Taj su postupak nedavno primijenili članovi ortodoksne židovske zajednice u Brooklynu, jer su imali povećani rizik Tay-Sachsove bolesti.

Jedna će bolest, čini se, ostati smrtonosna kroz čitavo stoljeće – rak.

SUŽIVOT S RAKOM

Richard Nixon je 1971. uz veliku pompu i publicitet svečano najavio rat protiv raka. Ulijevanjem novca u istraživanje, vjerovao je da će se pronaći lijek u tren oka. Četrdeset godina kasnije (i 200 milijardi dolara), rak je i dalje vodeći uzrok smrti u SAD-u i odgovoran za 25 posto svih smrti. Smrtnost od raka je pala za samo 5 posto od 1950. do 2010. (prilagođavajući se dobi i drugim čimbenicima). Procjenjuje se da će rak odnijeti živote 562 000 Amerikanaca te godine, ili više od 1000 ljudi dnevno. Stope raka su pale kod nekih vrsta raka, ali su uporno jednake kod drugih. Liječenje raka uključuje trovanje, rezanje i uništavanje ljudskoga tkiva i predstavlja iskušenje za pacijente koji se često zapitaju što je gore, bolest ili tretman.

Gledajući unatrag možemo uvidjeti što je pošlo krivo. U to doba, prije revolucije u genskom inženjeringu, uzroci raka su bili pokriveni velom tajne.

Znanstvenici danas znaju da je rak prvenstveno genetsko oboljenje.

Bilo da je izazvan virusom, kemijskim zračenjem, radijacijom ili slučajem, rak u suštini uključuje mutacije u četiri ili više naših gena u kojima normalne stanice “zaborave kako umrijeti”. Stanice gube kontrolu nad svojom reprodukcijom i reproduciraju se bez ograničenja te na kraju ubiju pacijenta. Činjenica da je potreban niz od četiri ili više defektivnih gena objašnjava zašto rak ubija često desetljećima nakon incidenta koji ga je izazvao. Primjerice, možete zadobiti ozbiljnu opeklinu od sunca dok ste dijete. Mnogo desetljeća kasnije možete dobiti rak na istome mjestu. To znači da je trebalo upravo toliko vremena da se dogode i druge mutacije koje su pokrenule rak.

Postoje najmanje dva glavna tipa gena. Onkogeni, koji ubrzavaju, i potiskivači tumora koji su

kao kočnice na automobilu. Onkogen djeluje kao papučica gasa stisnuta do daske koja izbacuje vozilo izvan kontrole i omogućuje stanicama da se reproduciraju bez ograničenja. Potiskivač tumora djeluje poput kočnice, a kad je oštećen, stanica je poput automobila koji ne može stati.

U okviru projekta Cancer Genome namjera je sekvencionirati gene većine rakova. Budući da svaki rak zahtijeva zasebno sekvencioniranje ljudskoga genoma, Cancer Genome Project je stotinama puta ambiciozniji projekt od izvornoga Human Genome Projecta.

Prvi dugo očekivani rezultati toga projekta objavljeni su 2009. i odnosili su se na rak kože i pluća. Rezultati su bili fascinantni. Mike Stratton iz Instituta Sanger Wellcome Trust je kazao: "Ono što smo vidjeli danas promijenit će način na koji vidimo rak. Nikada ranije nismo vidjeli rak pod tim svjetlom."

Stanice raka pluća imale su zapanjujućih 23 000 zasebnih mutacija, dok je rak kože imao 33 000 mutacija. To znači da svaki pušač razvije jednu mutaciju za svakih 15 cigareta koje konzumira. (Rak pluća ubija milijun ljudi godišnje diljem svijeta.)

Cilj je genetski analizirati sve tipove raka, kojih postoji više od 100. Postoje mnoga tkiva u tijelu i svako može postati kancerozno. Mnogo je vrsta raka za isto tkivo. Deseci tisuća mutacija u svakom tipu raka. Budući da svaki rak uključuje desetke tisuća mutacija, bit će potrebna desetljeća da se precizno izoliraju mutacije koje uzrokuju poremećaj staničnog mehanizma. Znanstvenici će razviti terapije za široku paletu rakova, ali ne i terapiju za sve rakove, budući da su rakovi skupina različitih oboljenja.

Nove će terapije neprestano dolaziti na tržište, a bit će dizajnirane da napadnu rak na molekularnoj i genetskoj razini. Neke od obećavajućih uključuju:

- antiangiogeneza ili presijecanje dotoka krvi tumoru da ne može rasti
- nanočestice koje djeluju poput "pametnih bombi" usmjerenih na stanice raka
- genska terapija, posebice za gen P53
- novi lijekovi koji ciljaju samo stanice raka
- nova cjepiva protiv virusa koji mogu uzrokovati rak, kao ljudski papilomavirus (HPV) koji uzrokuje rak vrata maternice

Nažalost, nije izgledno da ćemo naći čarobni metak protiv raka. Liječit ćemo ga korak po korak. Najizglednije je da će se stopa smrtnosti smanjiti kada rasporedimo u okolišu DNA-čipove koji će neprestano nadgledati stanice raka godinama prije nego što se razvije tumor.

Dobitnik Nobelove nagrade David Baltimore zamjećuje: "Rak je vojska stanica koja se bori protiv naših terapija na načine za koje sam siguran da će nas neprestano držati u bitci."

SREDINA STOLJEĆA (2030. DO 2070.)

GENSKA TERAPIJA

Usprkos preprekama u genskoj terapiji, istraživači vjeruju da će polučiti napredak u nadolazećim desetljećima. Do sredine će stoljeća, smatraju mnogi, genska terapija biti standardna metoda u liječenju mnogih genetskih oboljenja. Uspjesi koje su znanstvenici polučili u istraživanjima na životinjama prenijet će se na ljudske pacijente.

Dosad su genske terapije bile usmjerene protiv bolesti uzrokovanih mutacijama u jednome genu. Takva će se oboljenja prva izliječiti. Mnoge su bolesti uzrokovane mutacijama u više gena uz okidače iz okoline. Njih je mnogo teže liječiti, ali tu se nalaze važne bolesti poput dijabetesa, shizofrenije, Alzheimerove, Parkinsonove i srčane bolesti. Svi oni pokazuju određene genetske obrasce, ali nijedan gen nije zasebno odgovoran. Primjerice, moguće da shizofreničar ima brata blizanca koji ne pati od istoga oboljenja.

Godinama se objavljuju vijesti da su znanstvenici uspjeli izdvojiti neke od gena koji uzrokuju shizofreniju praćenjem genetske povijesti određenih obitelji. Problem je što takvi rezultati nisu mogli biti potvrđeni drugim nezavisnim studijama. Ti su rezultati krivi ili je još mnogo gena povezano sa shizofrenijom. K tomu treba dodati da određeni čimbenici iz okoline imaju velik utjecaj.

Do sredine stoljeća genska će terapija postati uobičajena terapija, barem za bolesti prouzročene od jednoga gena. Pacijenti će možda željeti više od popravljanja gena. Možda će ih htjeti poboljšavati.

DIZAJNERSKA DJECA

Do sredine će stoljeća znanstvenici poći prema poboljšavanju i pojačavanju gena.

Čežnja za nadljudskim sposobnostima vrlo je stara i ukorijenjena u grčkoj i rimskoj mitologiji, kao i u našim snovima. Veliki je heroj Heraklo, jedan od najpopularnijih grčkih i rimskih polubogova, dobio svoju snagu ne vježbom i dijetom nego ubrizgavanjem božanskih gena. Njegova je majka, Alkmena, bila predivna smrtnica čiju je ljepotu zapazio Zeus. Prerušio se u njenoga muža i vodio ljubav s njome. Kada je ona zatrudnjela, Zeus je obznanio da će dijete jednoga dana postati velik ratnik. Zeusova je žena Hera bila ljubomorna i potajice je skovala plan da ubije dijete produljivanjem poroda. Alkmena je gotovo umrla od boli zbog produženih porođajnih muka, ali je Herina spletka najposlije bila razotkrivena, a Alkmena je porodila neobično velika dječaka. Pola čovjek, pola bog, Heraklo je naslijedio bogovsku snagu svoga oca da obavi slavna junačka djela.

U budućnosti nećemo moći proizvoditi božanske gene, ali ćemo sigurno proizvoditi gene koji će nam dati nadljudske sposobnosti. Poput tegobnoga Heraklova poroda, bit će mnogo teškoća da se realizira ova tehnologija.

Do sredine stoljeća “dizajnerska djeca” mogla bi postati stvarnost. Biolog s Harvarda E. O. Wilson je rekao: “Homo sapiens, prva uistinu slobodna vrsta, stavit će izvan pogona prirodnu selekciju koja nas je stvorila… Uskoro ćemo morati pogledati duboko u sebe i odlučiti što uistinu želimo postati.”

Znanstvenici razjašnjavaju gene koji kontroliraju temeljne funkcije. Gen "pametnoga miša" je izdvojen 1999. Miševi koji imaju taj gen bolje prolaze kroz labirint i bolje pamte.

Joseph Tsien i znanstvenici sa Sveučilišta Princeton stvorili su rod genetski promijenjenih miševa s dodatnim genom NR2B koji pomaže aktiviranje stvaranja neuroprijenosnika N-metil-D-aspartata (NMDA) u prednjem dijelu mišjega mozga. Stvaratelji pametnoga miša su ih nazvali Doogie miševi (prema televizijskome liku dr. Doogie Howseru).

Pametni miševi su postigli bolje rezultate od običnih miševa u čitavom nizu testova. Kad se miševi stave u bačvu vode u koju je dodano mlijeko, moraju pronaći platformu malo ispod površine na koju se mogu popeti. Normalni miševi zaborave gdje se nalazi platforma koju su ranije vidjeli, a pametni miševi krenu dijagonalnim pravcem u smjeru platforme. Kad se miševima pokažu jedan novi i jedan stari predmet, normalan miš ne obraća pozornost na novi predmet. Pametni miš smjesta prepoznaje prisutnost novoga predmeta.

Veoma je važno da znanstvenici razumiju kako djeluju geni pametnoga miša – reguliraju sinapse u mozgu. Zamislite mozak kao niz putova, a sinapse kao naplatne kućice. Ako je cestarina previsoka, vozila ne mogu proći kroz vrata – poruka je zaustavljena unutar mozga. Ako je cestarina niska, vozila mogu proći i poruka je prenesena kroz mozak. Neuroprijenosnici poput NMDA spuštaju cijenu cestarine na sinapsi i omogućavaju slobodan prolaz porukama. Pametni miš ima dvije kopije gena NR2B koji pomaže proizvodnju NMDA neuroprijenosnika.

Pametni miševi potvrđuju Hebbovo pravilo da se učenje javlja kad se izvjesni neuronski putovi pojačaju. Neuronski se putovi mogu pojačati reguliranjem sinapsi koji spajaju dva živčana vlakna i tako olakšati prijenos signala preko sinapse.

To može objasniti neke osobitosti kod učenja. Poznato je da stare životinje imaju smanjene sposobnosti učenja. Znanstvenici su to zamijetili kroz sve dijelove životinjskoga carstva. Objašnjenje možda leži u zamjedbi da gen NR2B postaje sve manje aktivan s godinama.

Kako smo ranije vidjeli. prema Hebbovu se pravilu pamćenje javlja kada se ostvare jake sinaptičke veze. Moguće je da je to istina, jer aktiviranje NMDA receptora stvara jaku sinaptičku vezu.

GEN MOĆNOGA MIŠA

Izdvojen je i "gen moćnoga miša" koji povećava mišićnu masu tako da mišji mišići hipertrofiraju. Pronađen je kod miševa s neuobičajeno snažnom mišićnom masom. Znanstvenici shvaćaju da se radi o genu miostatinu koji pomaže da se zadrži rast mišića. Godine 1997. shvatili su da se mišićna masa zapanjujuće povećava ako se gen miostatin deaktivira.

Još je jedno otkriće ugledalo svjetlo dana u Njemačkoj, kad su znanstvenici ispitali novorođenoga dječaka s neuobičajenim mišićima na gornjim dijelovima nogu i ruku. Ultrazvukom je potvrđeno da su dječakovi mišići bili dvostruko veći od normalnih. Sekvencioniranjem gena djeteta i njegove majke (profesionalna sprinterica) pronašli su sličan genetski obrazac. Krvne pretrage su pokazale potpuni nedostatak miostatina.

Znanstvenici na Johns Hopkins Medical School bili su željni stupanja u kontakt s pacijentima koji pate od degenerativnih mišićnih poremećaja i koji bi mogli imati koristi od tih rezultata, ali su bili razočarani kad su shvatili da je polovica poziva u ured dolazila od bodybuildera koji su htjeli ojačati bez obzira na posljedice. Možda se ti bodybuilderi prisjećaju fenomenalnoga uspjeha

Arnolda Schwarzeneggera kojemu je dopušteno da koristi steroide na početku svoje karijere. Zbog povećanoga zanimanja za gen miostatin i za načine da ga se deaktivira, Olimpijski odbor je osnovao posebnu komisiju za njegovu kontrolu. Za razliku od steroida, koje je lako otkriti pomoću kemijskih testova, nova metoda je bila mnogo teže uočljiva, jer je uključivala gene i proteine koje oni proizvode.

Istraživanja koja su izvedena na identičnim blizancima koji su bili razdvojeni na porodu pokazuju da su mnoge crte u ponašanju pod utjecajem genetike. Te studije pokazuju da je gotovo 50 posto ponašanja blizanaca pod utjecajem gena, a ostalih 50 posto pod utjecajem okoline. Obilježja ponašanja koja dolaze u obzir su pamćenje, usmeno izražavanje, snalaženje u prostoru, brzina obrade, ekstrovertiranost i avanturizam.

Čak i ponašanja za koja se mislilo da su složena sada se povezuju s genetskim korijenima. Prerijske su voluharice monogamne. Laboratorijski miševi su promiskuitetni. Larry Young sa Sveučilišta Emory zapanjio je svijet biotehnologije kad je pokazao da prijenos jednoga gena prerijske voluharice može stvoriti miša s monogamnim karakteristikama. Svaka životinja ima različite inačice pojedinih receptora za moždane peptide povezane s društvenim ponašanjima i parenjem. Young je ubrizgao voluharičin gen za taj receptor u miševe i vidio da miševi pokazuju osobine monogamnoga ponašanja.

Young je rekao: "Premda su geni povezani s razvojem složenih društvenih ponašanja poput monogamije… promjene u izrazu jednoga gena mogu imati utjecaj na izraz komponenti tih ponašanja poput pripadnosti."

Depresija i sreća mogu imati genetske korijene. Odavno je poznato da postoje sretni ljudi koji su doživjeli tragične nesreće. Oni uvijek vide ljepšu stranu stvari, čak i suočeni s nevoljama koje bi uništile druge ljude. Ti su ljudi zdraviji nego ostali. Psiholog s Harvarda, Daniel Gilbert, rekao mi je da postoji teorija koja to može objasniti. Možda smo rođeni s "količinom sreće koju tijelo pokušava održati na određenoj vrijednosti (engl. set point)". Kako prolaze dani, mi osciliramo oko tih postavljenih vrijednosti, ali je razina određena pri rođenju. U budućnosti ćemo lijekovima ili genskom terapijom moći pomaknuti te postavljene vrijednosti, osobito za one koji su kronično depresivni.

NEŽELJENE POJAVE BIOTEHNOLOŠKE REVOLUCIJE

Do sredine stoljeća će znanstvenici odvojiti i izmijeniti pojedine gene koji upravljaju nizom ljudskih osobina. Međutim, to ne znači da će čovječanstvo odmah imati koristi od toga. Predstoji dug i mukotrpan put ispravljanja nuspojava i neželjenih pojava za koji će trebati desetljeća rada.

Ahilej je bio nepobjediv u bitci. Vodio je pobjedničke Grke u epskome boju protiv Trojanaca. Njegova je snaga imala fatalnu manu. Kad je bio dijete, majka ga je uronila u čarobnu rijeku Stiks u želji da ga učini nepobjedivim. Nažalost, morala ga je držati za petu kad ga je stavila u rijeku tako da mu je ostala točka ranjivosti. Kasnije je ubijen u Trojanskome ratu nakon što je pogođen strijelom u petu.

Današnji se znanstvenici brinu da bi stvorenja stvorena u laboratorijima također mogla imati Ahilovu petu. Primjerice, postoji oko 33 različite vrste "pametnih miševa" s povećanim pamćenjem i snagom. Postoji neočekivana nuspojava povećanoga pamćenja – pametni miševi su ponekad paralizirani zbog straha. Kada ih izložimo krajnje blagom električnom šoku, tresu se od užasa. "Kao da previše pamte", kaže Alcino Silva s UCLA koji je stvorio svoju vlastitu vrstu

pametnih miševa. Znanstvenici pomalo shvaćaju da je zaboravljanje jednako važno kao i pamćenje za razumijevanje svijeta i organiziranje našega znanja. Kad želimo organizirati svoje znanje, moramo baciti mnogo datoteka.

To podsjeća na slučaj iz 1920-ih, kad je ruski neurolog A. R. Luria dokumentirao slučaj čovjeka koji je imao fotografsko pamćenje. Nakon jednoga čitanja Danteove Božanske komedije, zapamtio je svaku riječ. To mu je pomagalo u radu kao novinarskom reporteru, ali nije bio sposoban razumjeti preneseno značenje. Luria zamjećuje: "Prepreke razumijevanju bile su zapanjujuće. Svaki je izraz stvarao neku sliku. To se suprotstavljalo nekoj drugoj slici koju je stvarao."

Znanstvenici vjeruju da treba postojati ravnoteža između zaboravljanja i pamćenja. Ako previše zaboravljate, možete zaboraviti bol prouzrokovanu prijašnjim grješkama, ali zaboravljate i ključne činjenice i vještine. Ako previše pamtite, moći ćete upamtiti važne detalje, ali će vas paralizirati sjećanje na svaku bol i neuspjeh. Samo njihov zdrav omjer pruža pravo razumijevanje stvarnosti.

Bodybuilderi se okreću različitim lijekovima i terapijama koje obećavaju slavu i publicitet. Hormon eritropoietina (EPO) djeluje stvaranjem crvenih krvnih stanica koje su nosioci molekula kisika, što pojačava izdržljivost. Budući da EPO zgušnjava krv, povezuje se sa srčanim i moždanim udarom. Inzulinski činitelji rasta (IGF) su korisni, jer pomažu proteinima da napune mišiće, ali su povezani i s rastom tumora.

Čak i ako se izglasaju zakoni koji zabranjuju genetska poboljšanja, teško će se zaustaviti. Roditelji su evolucijski predodređeni da žele pružiti svaku prednost svome djetetu. S jedne strane to znači da im žele pružiti satove violine, baleta ili sportski trening. To može značiti da im možda budu htjeli dati genska poboljšanja pamćenja, raspona pozornosti, atletskih sposobnosti ili čak izgleda. Ako roditelji doznaju da im se dijete natječe sa susjedovim djetetom koje je dobilo genska poboljšanja, postojat će veliki pritisak da im se dadu iste prednosti.

Gregory Benford je rekao: "Svi znamo da lijepi ljudi uspijevaju u životu. Koji bi roditelji mogli odoljeti argumentu da daju svome djetetu snažan potporanj u bespoštednom svijetu natjecanja?"

Do sredine stoljeća genetsko će poboljšavanje možda postati uobičajeno. Možda čak postane i neizbježno, ako budemo morali istraživati sunčev sustav i živjeti na nenastanjivim planetima.

Neki govore da bismo trebali koristiti dizajnirane gene da postanemo zdraviji i sretniji. Drugi kažu da možemo odobriti kozmetička poboljšanja. Veliko je pitanje dokle će to ići. Moglo bi postati iznimno teško nadgledati širenje "dizajnerskih gena" koji poboljšavaju izgled i izvedbu. Ne želimo da se ljudski rod razdvoji na različite genetske frakcije, poboljšani i nepoboljšani. Društvo će demokratski morati odlučiti dokle ići s poboljšanjima.

Osobno smatram da će biti izglasani zakoni koji će regulirati tu moćnu tehnologiju s ciljem da dopuste gensku terapiju koja liječi bolesti i omogućava vođenje produktivnoga života, a zabranit će čisto kozmetičke uporabe. Mogla bi se pojaviti crna tržišta pa ćemo se morati prilagoditi društvu u kojemu će maleni dio biti genetski poboljšan.

Za većinu to neće biti katastrofa. Već sada se može koristiti plastična operacija za poboljšanje izgleda tako da korištenje genskog inženjeringa možda neće biti potrebno. Opasnost će se javiti kada netko bude htio genetski promijeniti vlastitu osobnost. Postoje mnogi geni koji

utječu na ponašanje i oni komuniciraju na složene načine. Manipuliranje gena ponašanja može stvoriti neočekivane posljedice. Trebat će desetljeća da se urede sve te nuspojave.

Što je s najvećim od svih genskih poboljšanja – produljenjem ljudskoga životnog vijeka?

DALEKA BUDUĆNOST (2070. D0 2100.)

POMLAĐIVANJE

Kroz povijest su kraljevi imali moć da upravljaju čitavim vojskama, ali uvijek je postojala stvarnost izvan njihove kontrole – starenje. Stoga je potraga za besmrtnošću jedna od najstarijih aspiracija u ljudskoj povijesti.

U Bibliji, Bog progoni Adama i Evu iz Rajskoga vrta u Edenu zato što su prekršili njegove naredbe o plodu drva znanja. Boga je bilo strah da će Adam i Eva razotkriti tajnu besmrtnosti i postati sami bogovima. U Postanku 3, 22 u Bibliji piše: "Evo, čovjek postade kao jedan od nas – znajući dobro i zlo! Da ne bi sada pružio ruku, ubrao sa stabla života pa pojeo i živio navijeke!"

Uz Bibliju je jedna od najstarijih i najvećih pripovijesti ljudske civilizacije Ep o Gilgamešu koji pripovijeda o velikom ratniku iz Mezopotamije i potječe iz 27. stoljeća prije Krista. Kad je poginuo njegov vjerni prijatelj, Gilgameš kreće na putovanje u potrazi za tajnom besmrtnosti. Čuo je glasine da su neki mudar čovjek i mudra žena dobili dar besmrtnosti od bogova i da su oni jedini koji su preživjeli Opći potop. Nakon herojskih podviga, Gilgameš konačno pronalazi tajnu besmrtnosti koju mu zmija otme u zadnjem trenu.

Budući da je Ep o Gilgamešu jedno od najstarijih književnih djela, povjesničari misle da je njegova potraga za besmrtnošću nadahnula grčkoga pisca Homera da napiše svoju Odiseju i opis Noinog potopa u Bibliji.

Mnogi rani kraljevi – poput kineskoga cara Qina koji je ujedinio Kinu oko 200. pr. Kr. – slali su mornarice u potragu za Izvorom mladosti, ali su svi neslavno propali. (Prema narodnoj predaji, car Qin je dao naredbu mornarici da se ne vrate, ako ne uspiju u potrazi. Nisu uspjeli pronaći izvor, ali su bili u strahu od povratka pa su stoga utemeljili Japan.)

Dugo se vremena mislilo da je životni vijek određen, nepromjenjiv i izvan dosega znanosti. Zadnjih godina takav je pogled srušen pod težinom zapanjujućega niza eksperimentalnih rezultata koji su unaprijedili polje istraživanja. Gerontologija, koja je bila nekoć uspavano, močvarno područje znanosti, sad postaje jednim od najpoželjnijih polja koje privlači stotine milijuna dolara u sredstva za istraživanje, a moguć je i komercijalni razvoj.

Tajne procesa starenja se razotkrivaju, a genetika će igrati ključnu ulogu u tom procesu. Gledanjem u životinjsko carstvo možemo primijetiti veliku raznolikost životnih vjekova. Na primjer, naša se DNA razlikuje od DNA naših najbližih srodnika, čimpanzi, za samo 1,5 posto, ali mi živimo 50 posto duže. Analizom šačice gena koji nas razlikuju od čimpanzi, moći ćemo odrediti zašto živimo toliko duže od naših genetskih srodnika.

Uspjelo se u ostvarivanju "unificirane teorije starenja" koja dovodi različite slojeve istraživanja u jednu i suvislu sintezu. Znanstvenici danas znaju što je starenje – gomilanje pogrješaka na genetskoj i staničnoj razini. Pogrješke se događaju na različite načine. Primjerice, metabolizam može uzrokovati stvaranje slobodnih radikala i oksidacije koji oštećuju delikatan

molekularni mehanizam naših stanica i uzrokuju starenje. Pogrješke se također mogu sakupljati u obliku "otpadnih" molekularnih ostataka koji se skupljaju unutar i izvan stanica.

Nagomilavanje genetskih pogrješaka je nuspojava drugoga zakona termodinamike: totalna entropija (tj. kaos) uvijek se povećava. Zbog toga su hrđanje, truljenje i propadanje univerzalna obilježja života. Treći zakon termodinamike je neizbježan. Sve, od cvijeća na polju do naših tijela i samoga svemira osuđeno je da propadne i umre.

Postoji međutim malena, ali značajna rupa u drugome zakonu termodinamike koja govori da se ukupna entropija uvijek povećava. To znači da možemo smanjiti entropiju na nekom mjestu i okrenuti proces starenja tako da povećamo entropiju na nekom drugom mjestu. Moguće se pomladiti pod uvjetom da drugdje povećamo propadanje (Na to je ciljao slavni roman Oscara Wildea Slika Doriana Graya. Glavni je junak ostao vječno mlad. Njegova je tajna bila slika njegova portreta koja je strašno starjela. Ukupna količina starenja se povećavala.) Načelo entropije može se razumjeti kada se pogleda iza hladnjaka. Unutar hladnjaka entropija se smanjuje kako pada temperatura. Morate imati motor koji povećava toplinu iza hladnjaka i povećava entropiju izvan uređaja da biste smanjili unutrašnju entropiju. Zbog toga su hladnjaci vreli sa stražnje strane.

Jednom je zgodom dobitnik Nobelove nagrade Richard Feynman kazao: "Još nije pronađeno ništa u biologiji što bi ukazivalo na neizbježnost smrti. To mi kazuje da ona uopće nije neizbježna i da je pitanje vremena kad će biolozi otkriti što točno uzrokuje ovu nevolju i da će ova strašna opća bolest odnosno privremenost ljudskoga tijela biti izliječena."

Drugi se zakon termodinamike može vidjeti u djelovanju ženskoga spolnoga hormona estrogena koji održava ženu mladom i punom života do menopauze kada se starenje ubrzava, a stopa smrtnosti povećava. Estrogen je poput visokooktanskoga goriva za sportske bolide. Vozilo radi savršeno pod cijenu većeg trošenja motora. Kod žena se stanično trošenje može manifestirati pojavom raka dojke. Cijena koju žene plaćaju za mladost i ljepotu prije menopauze je povećanje totalne entropije, a u tom slučaju pojava raka dojke. (Postoji mnoštvo teorija koje objašnjavaju nedavni rast stope raka dojki, ali su sve još uvijek poprilično kontroverzne. Jedna teorija kazuje da je to povezano s ukupnim brojem menstrualnih ciklusa kroz koje žena prolazi. U prošlosti su žene nakon puberteta bile manje ili više neprestano trudne sve do menopauze, a tada bi umrle u kratkom roku. To znači da su imale malo menstrualnih ciklusa, nisku razinu estrogena i, stoga, vjerojatno malu stopu raka dojke. Današnje mlade djevojke ulaze u pubertet ranije, imaju mnogo menstrualnih ciklusa, rađaju u prosjeku 1,5 djeteta, preživljavaju menopauzu i, prema tome, mnogostruko su više izložene djelovanju estrogena, što dovodi do moguće pojave raka dojke.)

U posljednje je vrijeme otkriven cio niz primamljivih indicija o genima i starenju. Istraživači su pokazali da je moguće uzgojiti generacije životinja koje žive duže od običnih. Stanice kvasca, oblići i vinske mušice mogu se tako uzgojiti u laboratoriju da žive duže od običnih. Znanstveni svijet je bio zapanjen kad je Michael Rose sa Sveučilišta u Kaliforniji u gradu Irvine objavio uspjeh u produljenju životnoga vijeka vinske mušice za 70 posto metodom selektivnoga uzgoja. Njegove "super-muhe" ili Metuzalemove muhe imaju veće količine antioksidansa superoksida dismutaze (SOD) koji može usporiti oštećivanje uzrokovano slobodnim radikalima. Thomas Johnson sa Sveučilišta Colorado u gradiću Boulder je izdvojio gen, nazvan starost-1, koji je odgovoran za starenje oblića. Povećao je njihov životni vijek za 110 posto. "Ako postoji nešto nalik na gen starost-1 kod ljudi, mogli bismo postići nešto spektakularno", dodao je.

Znanstvenici su izdvojili nekolicinu gena (starost-1, starost-2, daf-2) koji kontroliraju i reguliraju proces starenja kod nižih organizama, a ti geni imaju svoje ekvivalente kod ljudi. Jedan je znanstvenik primijetio da mijenjanje životnoga vijeka stanica kvasca nalikuje pritiskanju

prekidača za svjetlo. Kad se aktivira određeni gen, stanice žive dulje. Kad ga deaktivirate, žive kraće.

Uzgojiti stanice kvasca da dulje žive jednostavno je u usporedbi s tegobnim zadatkom uzgoja ljudi koji žive toliko dugo da je testiranje onemogućeno. Izoliranje gena odgovornih za starenje ubrzat će se u budućnosti, osobito kad svi budemo imali svoje genome na CD disku. Dotada će znanstvenici imati zapanjujuće arhive podataka milijardi gena koje će analizirati računala. Znanstvenici će moći skenirati milijune genoma dvaju skupina ljudi, starih i mladih. Usporedbom dvaju nizova, moći ćemo prepoznati gdje počinje proces starenja na genetskoj razini. Uvodne analize gena su već izolirale oko 60 gena u kojima se starenje smješta.

Znanstvenici znaju da se dugovječnost javlja u pojedinim obiteljima. Ljudi koji žive duže obično imaju roditelje koji su živjeli duže. Znanstvenici analiziraju identične blizance koji su bili razdvojeni na porodu i zamjećuju to na genetskoj razini. Ipak, očekivani životni vijek nije sto posto determiniran našim genima. Znanstvenici vjeruju da je on samo oko 35 posto determiniran genima. U budućnosti, kad svi budemo imali osobni genom vrijedan 100 dolara, moći ćemo računalno analizirati genome milijuna ljudi i izolirati one gene koji djelomice upravljanju životnim vijekom.

Nadalje, računalna su istraživanja precizno lokalizirala mjesta na kojima proces starenja počinje. U vozilu starenje počinje prvenstveno na motoru u kojemu oksidira i sagorijeva gorivo. Shodno tomu, genetske analize pokazuju da je starenje smješteno u "motoru" stanice, u mitohondrijima ili staničnoj tvornici energije. Time su znanstvenici suzili potragu za "genima starenja" i tragaju za načinima da se ubrza obnavljanje gena unutar mitohondrija i time obrne proces starenja.

Do 2050. će biti moguće usporiti proces starenja pomoću raznolikih terapija poput terapije matičnim stanicama, korištenjem usluga prodavaonice ljudskih organa i genske terapije. Možda ćemo živjeti i 150 godina ili čak i više. Do 2100. ćemo možda uspjeti okrenuti proces starenja ubrzanjem mehanizma staničnoga obnavljanja i živjeti još duže.

OGRANIČAVANJE UNOSA KALORIJA

Začudna je činjenica da ograničenje unosa kalorija (to jest, smanjivanje za 30 posto količine kalorija koju unosimo u tijelo hranjenjem) povećava životni vijek za 30 posto. Svi organizmi koji su dosada analizirani – od stanica kvasca, pauka, insekata, zečeva, pasa i majmuna – pokazuju taj čudan fenomen. Životinje koje su imale ograničavajuću dijetu imale su manje tumora, manje srčanih oboljenja, manju stopu dijabetesa i manje bolesti povezanih sa starenjem. U stvari, ograničavanje unosa kalorija je jedini poznati mehanizam koji jamči povećavanje životnoga vijeka. Višekratno je testiran na većini životinjskih vrsta i svaki puta djeluje. Donedavno su jedino primati izmicali istraživanju učinkovitosti kalorijskog ograničavanja, jer žive predugo pa se trebalo pričekati s rezultatima testiranja.

Znanstvenici su bili osobito nestrpljivi da vide rezultate ograničavanja kalorijskih unosa kod rezus-majmuna. Konačno su 2009. došli dugo očekivani rezultati. Istraživanje provedeno na Sveučilištu Wisconsin pokazalo je da su majmuni na reduciranoj prehrani patili od manjeg broja bolesti – manje dijabetesa, raka, srčanih oboljenja. Majmuni su bili boljeg zdravlja od svojih srodnika koji su bili na uobičajenoj prehrani.

Postoji teorija koja to objašnjava – priroda daje životinjama dva "izbora" o načinu trošenja

energije. Tijekom razdoblja obilja, energija se koristi za reprodukciju. Tijekom razdoblja gladi, tijelo obustavlja reprodukciju, čuva energiju i pokušava prebroditi nestašicu. U životinjskom carstvu, stanje u kojem se gotovo umire od gladi je prilično uobičajeno, stoga životinje "odabiru" gašenje reprodukcije, usporavanja metabolizma, duljega života i nade u bolje dane u budućnosti.

Sveti gral u istraživanju starenja je da se na neki način sačuvaju učinci kalorijskoga ograničavanja bez negativne strane (izgladnjivanje). Prirodna tendencija kod ljudi je dobivanje tjelesne težine, a ne gubljenje. Život na reduciranom unosu kalorija nije nimalo zabavan. Imali biste prehranu pred kojom bi pustinjak ostao bez riječi. Životinje podvrgnute strogom ograničenju u prehrani postaju letargične, umrtvljene i gube zanimanje za spolno općenje. Znanstvenici su motivirani da pronađu gen koji upravlja tim mehanizmom. Njime bismo mogli požnjeti pozitivne učinke kalorijskoga ograničavanja bez negativnih strana.

Važna naznaka za to pronađena je 1991. na MIT-ju. Leonard P. Guarente i drugi tragali su za genom koji bi mogao produljiti životni vijek stanica kvasca. Guarente, David Sinclair s Harvarda i suradnici otkrili su gen SIR2 koji je povezan s ostvarivanjem posljedica kalorijskoga ograničavanja. Taj je gen zadužen za detektiranje energijskih zaliha stanice. Kad su zalihe niske, gen se aktivira. Točno to se može i očekivati od gena koji upravlja učincima kalorijskog ograničavanja. Pronašli su gene koji su premci gena SIR2 kod miševa i ljudi. Nazivaju se SIRT geni i proizvode proteine zvane sirtuini. U potrazi za kemikalijama koje aktiviraju sirtuine pronašli su resveratrol.

To je bila veoma zanimljivo, jer znanstvenici vjeruju da resveratrol uzrokuje pozitivne posljedice crnoga vina i objašnjava "francuski paradoks". Francuska kuhinja je slavna po svojim ukusnim umacima bogatim mastima i uljima, a Francuzi svejedno imaju uobičajen životni vijek. Možda se misterij može objasniti time što Francuzi konzumiraju toliko crnoga vina, koje sadrži resveratrol.

Znanstvenici su otkrili da aktivatori sirtuina štite miševe od različitih oboljenja – rak pluća i debeloga crijeva, melanoma, limfoma, dijabetesa tip 2, kardiovaskularnih bolesti i Alzheimera. Ako se i maleni dio tih bolesti kod ljudi može liječiti sirtuinima, napredak će biti značajan.

Nedavno je objavljena teorija koja objašnjava sve značajne osobine resveratrola. Prema Sinclairu, glavna je zadaća sirtuina sprječavanje aktivacije određenih gena. Kromosomi pojedine stanice mogli bi se razvući 183 cm, ako bi se potpuno razvukli, i stvorili bi astronomski dugačku molekulu. U bilo kojem trenutku, samo je dio gena u nizu od 183 cm kromosoma zaista potreban. Sve ostalo mora biti neaktivirano. Stanica gasi većinu gena koji nisu potrebni omatanjem kromosoma kromatinom koji sadrži sirtuin.

Ponekad se javljaju katastrofalni prekidi kod tih osjetljivih kromosoma poput potpunoga prekida u jednom od slojeva. Tada sirtuin ulazi u igru i pomaže obnavljanje slomljenoga kromosoma. Kad sirtuini privremeno napuste svoja mjesta i krenu u pomoć, moraju napustiti i svoj primarni posao sprječavanja aktivacije gena. Geni se aktiviraju i stvore genetički kaos. Takav prekid je jedan od glavnih mehanizama starenja.

Ako je to istina, sirtuini mogu ne samo zaustaviti starenje nego i obrnuti proces. Oštećenje DNA stanica je teško obnovljivo. Sinclair smatra da je veliki dio starenja uzrokovan odvraćanjem sirtuina sa svoga primarnoga zadatka i omogućavanjem stanicama da degeneriraju. Odvraćanje sirtuina se može lako obrnuti, tvrdi.

IZVOR MLADOSTI

Neželjena posljedica tih otkrića bio je medijski cirkus koji je eskalirao. Odjedanput se u emisijama 60 minuta i Oprah Winfrey Show pojavio resveratrol, što je stvorilo stampedo na internetu s jednodnevnim tvrtkama koje su nudile eliksir života. Činilo se kao da je svaki putujući prodavač čarobnih napitaka i svaki šarlatan htio uskočiti u resveratrolov vlak.

(Imao sam prigodu razgovarati s Guarenteom, čovjekom koji je pokrenuo taj medijski stampedo, u njegovu laboratoriju. Bio je oprezan u svojim izjavama, shvaćajući medijski utjecaj koji bi njegovi rezultati mogli imati, a kriva shvaćanja su veoma opasna. Osobito je bio bijesan što mnoge internetske stranice reklamiraju resveratrol kao neku vrstu izvora mladosti. Bilo je zastrašujuće da su ljudi htjeli zarađivati na iznenadnom publicitetu bez potvrđenih rezultata. Bez obzira na sve, ne isključuje mogućnost da će jednoga dana SIR2 igrati ulogu u čarobnom napitku mladosti, ako taj ikad bude otkriven. Njegov kolega Sinclair priznaje da uzima velike količine resveratrola svaki dan.)

Zanimanje za istraživanje starenja je toliko veliko unutar znanstvene zajednice da je Harvard Medical School financirala konferenciju 2009. koja je okupila neke od najvažnijih istraživača na području. U publici je bilo mnogo osoba koje provode kalorijsko ograničavanje. Izgledale su osušeno i slabašno, ali su testirale svoju znanstvenu filozofiju ograničavanjem svoje prehrane. Došli su i članovi Kluba 120 koji kane živjeti do 120. godine života. Najviše zanimanja je zaokupila tvrtka Sirtis Pharmaceuticals koju su osnovali David Sinclair i Christoph Westphal. Neki nadomjesci za resveratrol prolaze kliničke testove. Westphal kategorički tvrdi: "Kroz šest-sedam godina postojat će lijekovi za produživanje životnoga vijeka."

Kemikalije koje donedavno nisu ni postojale pobuđuju iznimno zanimanje dok prolaze kroz testiranja. SRT501 prolazi testiranje protiv mnogostrukog mieloma i raka debeloga crijeva. SRT2104 se testira protiv dijabetesa tipa 2. Različite skupine istražuju i veliki broj drugih gena, proteina i kemikalija (IGF-1, TOR i rapamicin).

Vrijeme će pokazati jesu li klinička testiranja bila uspješna. Povijest medicine vrvi pričama o razočaranjima, izvrtanjima i prevarama po pitanju procesa starenja. Znanost se, a ne praznovjerje, temelji na podatcima koji se mogu reproducirati, testirati i falsificirati. Kad Nacionalni institut za starenje uspostavi programe testiranja utjecaja različitih tvari na procese starenja, moći ćemo razabrati hoće li se zanimljiva istraživanja na životinjama prenijeti i na ljude.

MORAMO LI UMRIJETI?

William Haseltine, prvak biotehnologije, jednom mi je kazao: "Narav života nije smrtnost, već besmrtnost. DNA je besmrtna molekula. Ta se molekula prvi put pojavila prije možda 3,5 milijardi godina. Ista molekula se duplikacijom rasprostranila i danas je posvuda… Istina je da se mi trošimo, ali razgovarali smo o vremenu kad će se u budućnosti to moći izmijeniti. Prvo ćemo produžiti živote dvostruko ili trostruko. Kad budemo dovoljno dobro razumjeli mozak, moći ćemo produžiti život našeg mozga i tijela na neodređeno vrijeme. Mislim da se neće raditi o neprirodnom procesu."

Evolucijski biolozi ističu da je evolucijski pritisak stavljen na životinje tijekom njihovih reproduktivnih godina. Kad životinja prođe reproduktivne godine, postaje teret skupini i evolucija je programira da umre od starosti. Zbog toga smo možda programirani da umremo. Možda se možemo reprogramirati da živimo duže.

Kad pogledamo sisavce, što je veći sisavac, što je niža brzina metabolizma, to duže živi jedinka. Miševi upotrebljavaju ogromnu količinu hrane za svoju tjelesnu težinu i žive samo 4 godine. Slonovi imaju mnogo sporiji metabolizam i žive gotovo 70 godina. Ako metabolizam odgovara gomilanju pogrješaka, tada to odgovara teoriji da živiš duže ako ti je brzina metabolizma manja. (Jednom sam pročitao kratku pripovijetku o duhu koji je ponudio čovjeku da mu ispuni bilo koju želju. Taj je smjesta zatražio da živi 1000 godina. Duh mu je ispunio želju i pretvorio ga u drvo.)

Evolucijski biolozi pokušavaju objasniti životni vijek kao odgovor na pitanje kako je dugovječnost mogla koristiti preživljavanju vrste u divljini. Prema njima, određeni životni vijek je određen genetski, jer pomaže vrsti da preživi. Miševi žive toliko kratko, jer ih neprestano love grabežljivci, a često se i smrznu zimi. Miševi koji prenose svoje gene potomcima oni su koji imaju najviše potomaka, a ne oni koji dulje žive. (Ako je ova teorija točna, očekivali bismo da bi miševi koji bi mogli nekako poletjeti kad vide neprijatelja živjeli duže. I zaista, šišmiši žive 3,5 puta duže od miševa.)

Pojavljuje se jedna anomalija kod reptila. Čini se da neki reptili imaju nepoznati životni vijek. Moguće je da žive vječno. Aligatori i krokodili jednostavno postaju sve veći i veći, ali ostaju puni snage i energični kao i prije. (Sveučilišni udžbenici često tvrde da aligatori žive samo 70 godina. Tome je razlog možda što je radnik u zoološkome vrtu umro sa 70 godina. Drugi su udžbenici pošteniji i jednostavno kažu da je životni vijek tih stvorova veći od 70 godina, ali da nikada nije pažljivo izmjeren u laboratorijskim uvjetima.) U stvarnosti, te životinje nisu besmrtne, jer umiru u nesrećama, od izgladnjivanja, bolesti, itd. Međutim, u zoološkim vrtovima imaju nevjerojatne životne vjekove gotovo kao da žive zauvijek.

BIOLOŠKI SAT

Iznimno su zanimljive stanične telomere koje služe kao "biološki sat". Poput plastičnih opni na krajevima vezica na cipelama, telomere se nalaze na krajevima kromosoma. Nakon svakoga reproduktivnog ciklusa, one se skraćuju. Nakon otprilike 6 reprodukcija (za stanice kože), telomere se razgrade. Stanica ulazi u razdoblje starenja i prestaje ispravno funkcionirati. Tako da su telomere poput fitilja na štapiću dinamita. Ako se fitilj skrati nakon svakog reproduktivnog ciklusa, u konačnici fitilj nestane i stanice prestanu s reprodukcijom.

To se naziva Hayflickovim ograničenjem, a određuje gornju granicu životnome vijeku određenih stanica. Stanice raka nemaju Hayflickovo ograničenje i proizvode enzim nazvan telomeraza koji sprječava skraćivanja telomera.

Enzim telomeraze može se sintetizirati. Kad se upotrijebi na stanicama kože, one se reproduciraju bez ograničenja. Postaju besmrtne.

Ipak, postoji opasnost. Stanice raka su također besmrtne i dijele se bez ograničenja u tumoru. Upravo zbog toga su tako smrtonosne, jer se množe bez ograničenja, sve dok tijelo više ne može funkcionirati. Tako da se enzim telomeraze mora pažljivo analizirati. Svaka terapija koja bi koristila telomerazu da obrne biološki sat mora biti provjerena da ne prouzrokuje rak.

BESMRTNOST PLUS MLADOST

Ideja produljenja životnoga vijeka ljudi je izvor sreće za neke, a za druge predstavlja strahotu, kad promotrimo eksploziju pučanstva i društvo oronulih staraca koji vode države prema bankrotu.

Kombinacija bioloških, mehaničkih i nanotehnoloških terapija mogla bi povećati naš životni vijek i sačuvati u isto vrijeme mladost. Robert A. Freitas primjenjuje nanotehnologiju u medicini. On kaže: "Takve bi intervencije mogle postati uobičajene kroz nekoliko desetljeća. Uz godišnje kontrole i čišćenja, a ponekad i velike popravke, vaša biološka dob bi se mogla jednom godišnje vratiti na manje ili više nepromjenjivu fiziološku dob koju odaberete. Moći ćete umrijeti od slučajnih uzroka, ali ćete živjeti najmanje deset puta duže negoli danas."

U budućnosti produljivanje životnoga vijeka neće biti stvar pronalaženja Izvora mladosti. Izglednije je da će se primijeniti kombinacija nekolicine metoda:

1. uzgajanje novih organa kad se istroše ili postanu bolesni i to pomoću inženjeringa tkiva i matičnih stanica

2. ubrizgavanje mješavina proteina i enzima koji su dizajnirani da pojačaju stanični mehanizam obnavljanja, da reguliraju metabolizam, vrate na početne vrijednosti biološki sat i reduciraju oksidaciju

3. upotreba genske terapije za izmjenu gena koji bi mogli usporiti proces starenja

4. održavanje zdravijeg životnoga stila (vježba i dobra prehrana)

5. korištenje nanosenzora za otkrivanje bolesti poput raka godinama prije nego što postanu problem

PUČANSTVO, HRANA I ZAGAĐENJE

Ostaje vječno pitanje: ako se može produžiti očekivani životni vijek, imat ćemo problema s prenapučenošću? Nitko ne zna.

Odgađanje procesa starenja povlači za sobom niz društvenih implikacija. Ako budemo živjeli dulje, nećemo li prenapučiti planet? Neki ističu da se najveći dio produljenja životnoga vijeka već zbio, s obzirom na to da se očekivani životni vijek popeo s 45 na 70 u jednom stoljeću. Umjesto stvaranja eksplozije pučanstva, može se tvrditi da je imao suprotni učinak. Budući da ljudi žive dulje, pokreću karijere i odgađaju rađanje djece. Izvorno se europsko pučanstvo dramatično smanjuje. Ako ljudi budu živjeli dulje i imali bogatije živote, odgađat će dobivanje djece i imati ih manje. Ako ljudi budu imali dodatna desetljeća, prilagodit će svoje životne okvire i time odgoditi rađanje djece.

Drugi tvrde da će ljudi odbiti ovu tehnologiju, jer je neprirodna i krši njihova religijska uvjerenja. Neke su ankete doista pokazale da većina pučanstva smatra da je smrt posve prirodna i da pomaže dati smisao životu. (Međutim, većina su intervjuiranih ljudi bili mladi i sredovječni ljudi. Ako odete u starački dom gdje ljudi propadaju, žive u neprestanoj boli i očekuju smrt, i postavite isto pitanje, možete dobiti posve drukčije odgovore.)

Greg Stock s UCLA kaže: "Postupno će naše mučenje s problemom igranja Boga i brigama o

duljem životnom vijeku, ustuknuti pred pitanjem: 'Kad mogu dobiti tabletu?'"

Prema najboljim demografskim podacima, znanstvenici su 2002. izračunali da je 6 posto svih ljudi koji su ikada živjeli još uvijek živo. Zato što se ljudska populacija vrtjela oko jednog milijuna u većinskom razdoblju ljudske povijesti. Traganje za oskudnim zalihama hrane uvjetovalo je rast pučanstva. Čak na vrhuncu Rimskoga Carstva pučanstvo nije prelazilo 55 milijuna.

Zadnjih 300 godina javlja se dramatični uzlet svjetskoga pučanstva pojavom moderne medicine i industrijske revolucije koja je proizvela ogromne količine hrane i zaliha. U 20. stoljeću svjetska populacija je dosegla nove vrhunce, više nego udvostručena od 1950. do 1992., od 2,5 milijarde do 5,5 milijardi. Danas iznosi oko 6,7 milijardi. Svake godine 79 milijuna ljudi se pridruži ljudskome rodu, što čini pučanstvo jedne Francuske.

Zbog toga su se javljala mnoga predviđanja smaka svijeta, ali čovječanstvo je uspijevalo izbjeći metku. Thomas Malthus je 1798. upozorio što će se dogoditi ako pučanstvo nadmaši količinu zaliha hrane. Glad, neredi zbog hrane, rušenje vlada, masovno izgladnjivanje uslijedit će sve dok se ne nađe nova ravnoteža između pučanstva i resursa. Budući da zalihe hrane rastu linearno, a rast pučanstva je eksponencijalan, činilo se neizbježnim da će svijet u jednom trenutku doći do kritične točke. Malthus je predvidio masovne gladi za sredinu 19. stoljeća.

1960-ih se pojavilo još jedno maltuzijansko predviđanje koje je tvrdilo da će populacijska bomba pogoditi Zemlju i uzrokovati globalni kolaps do 2000. Predviđanje je bilo pogrešno. Zelena revolucija je uspješno povećala zalihe hrane. Podaci pokazuju da su zalihe hrane premašile rast svjetskoga pučanstva i time privremenom pobijedile Malthusovu logiku. Od 1950. do 1984. proizvodnja žitarica se povećala za 250 posto zahvaljujući novim fertilizatorima i novim poljoprivrednim tehnologijama.

Još jednom smo uspjeli izbjeći smrtonosni metak. Danas je populacijski rast u punome mahu i neki kažu da ćemo dosegnuti granicu Zemljine sposobnosti stvaranja hrane.

Proizvodnja hrane prijeti stagnacijom i u proizvodnji žita i u crpljenju iz oceana. Glavni je znanstvenik britanske vlade upozorio na prijetnju eksplozije pučanstva i padanja proizvodnje hrane i energije do 2030. Svijet će morati proizvoditi 70 posto više hrane do 2050. da nahrani dodatnih 2,3 milijarde ljudi, izvještava UN-ova Organizacija za hranu i poljoprivredu, ili ćemo doživjeti katastrofu.

Ova predviđanja možda podcjenjuju prave razmjere problema. Kad stotine milijuna ljudi iz Kine i Indije uđu u srednju klasu, uživat će u istim raskošima koje gledaju u hollywoodskim filmovima – dva vozila, prostrani domovi u predgrađima, hamburgeri i krumpirići, itd. – i to će još više opteretiti svjetske resurse. Lester Brown, jedan od vodećih svjetskih ekologa i osnivač Instituta World Watch u Washingtonu, povjerio mi je da svijet vjerojatno nije sposoban podnijeti napor pružanja životnoga stila srednje klase tolikim stotinama milijuna ljudi.

NADA ZA SVJETSKO STANOVNIŠTVO

Postoje tračci nade. Kontrola rađanja, nekoć tabu tema, postaje važnom temom u razvijenom svijetu i pronalazi svoj put u rasprave svijeta u razvoju.

U Europi i u Japanu vidimo imploziju, a ne eksploziju pučanstva. Stopa nataliteta je između 1,2 i 1,4 djeteta po obitelji u nekim europskim državama, dok je japanski natalitet od 2,1 nedavno

načet trostrukom nevoljom. Prva je: Japan ima populaciju koja najbrže stari. Japanske žene drže već 20 godina rekord u najdužem očekivanom životnome vijeku. Druga je: natalitet je u opadanju. Treća je: vlada održava vrlo nisku stopu imigracije. Te tri demografske sile stvaraju prometnu nesreću u usporenoj snimci. Europa nije daleko.

Lekcija koju učimo jest da je najbolje kontracepcijsko sredstvo na svijetu ekonomski prosperitet. U prošlosti seljaci nisu imali planove umirovljenja niti socijalno osiguranje pa su pokušavali napraviti što više djece da rade u polju i brinu o njima kad postanu stari. Imali su jednostavnu računicu: svako novo dijete u obitelji znači više radne snage, više primanja i više ljudi da se brine o vama u starosti. Kad seljak uđe u srednju klasu s osiguranom mirovinom i udobnim životnim stilom, jednadžba se okreće na drugu stranu: svako dijete smanjuje prihod i kvalitetu života.

U trećem svijetu imamo obrnuti problem – brzo rastuća populacija s velikim dijelom populacije ispod 20 godina. Čak i gdje se očekuje da populacijska eksplozija bude najveća, u Aziji i podsaharskoj Africi, natalitet pada iz više razloga.

Brza urbanizacija populacija seljaka koji napuštaju naslijeđenu zemlju i polaze u megalopolise da iskušaju svoju sreću. Samo je 3 posto stanovništva živjelo u gradovima 1800. Krajem 20. stoljeća ta je stopa iznosila 47 posto i očekuje se da poleti u sljedećim desetljećima. Trošak odgajanja djeteta u gradu drastično smanjuje broj djece u obitelji, budući da su režije i hrana toliko skupi da radnici u lošim četvrtima velikih gradova izvode istu računicu i zaključuju da im svako dodatno dijete pogoršava životne uvjete.

Kako se države industrijaliziraju, nastaju srednje klase koje žele manje djece kao na industrijaliziranom Zapadu. Obrazovanje žena, čak i u siromašnim državama poput Bangladeša, stvorilo je klasu žena koje žele manje djece. Zbog sveopćega obrazovnoga plana u Bangladešu je natalitet pao sa 7 posto na 2,7 posto bez sveopće urbanizacije i industrijalizacije.

UN neprestano revidira svoja predviđanja o populacijskom rastu. Procjene su različite, ali bi svjetsko pučanstvo moglo doseći 9 milijardi do 2040. Premda će pučanstvo rasti, stopa će se usporiti i konačno ispraviti i stagnirati. Optimisti predviđaju da će se stabilizirati na 11 milijardi oko 2100.

Normalno, to bi se moglo smatrati više no što planet može podnijeti. Međutim, ovisi kako definiramo Zemljine kapacitete, jer je moguća još jedna zelena revolucija.

Jedno je od rješenja problema i biotehnologija. U Europi je prerađena hrana zaradila lošu reputaciju, a to bi moglo trajati čitavu generaciju. Biotehnološka industrija je izbacila na tržište herbicide za farmere, kao i usjeve otporne na herbicide. Biotehnološkoj industriji je to značilo povećanu zaradu, ali su klijenti shvatili da dobivaju više otrova i tržište je implodiralo.

U budućnosti će žitarice poput "super-riže" ući na tržište. To će biti žitarice sposobne za rast u suhim, neprijateljskim i neplodnim regijama. S moralnih bi stajališta bilo teško suprotstaviti se usjevima koji su sigurni i mogu hraniti stotine milijuna ljudi.

USKRSAVANJE NESTALIH ŽIVOTNIH OBLIKA

Neki znanstvenici nisu zainteresirani samo za produljenje životnoga vijeka ljudi i varanje smrti,

nego i za vraćanje izumrlih stvorenja.

U filmu Jurski park, znanstvenici izdvoje DNA dinosaura, ubrizgavaju ga u jaja reptila i vraćaju dinosaure. Premda iskoristiva dinosaurova DNA još uvijek nije pronađena, postoje indicije da taj san nije izvan dosega. Do kraja stoljeća, naši bi zoološki vrtovi mogli vrvjeti vrstama koje su davno iščezle s površine Zemlje.

Kao što smo ranije spomenuli, Robert Lanza je poduzeo prve korake u kloniranju bantenga, ugrožene vrste javanskih goveda. Bila bi šteta da to govedo izumre. Razmišlja o mogućnosti da klonira jedinku suprotnoga spola. Kod sisavaca je spol organizma određen X i Y kromosomima. Prčkanjem po tim kromosomima možemo klonirati još jednu životinju od toga kostura i to suprotnoga spola. Time bi u zoološkim vrtovima mogli imati davno zamrle vrste i njihovu mladunčad.

Jednom sam zgodom bio na večeri s Richardom Dawkinsom sa Sveučilišta u Oxfordu, autorom djela Sebični gen. On ide korak dalje i spekulira da ćemo jednoga dana moći uskrsnuti cio niz životnih oblika koji su davno izumrli. Primijetio je da svakih 27 mjeseci ukupan zbroj sekvencioniranih gena bude dvostruko veći. Izračunao je da će koštati 160 dolara potpuno sekvencioniranje bilo čijeg genoma. Zamišlja vrijeme kada će biolozi nositi sa sobom maleni pribor i u nekoliko će minuta moći sekvencionirati potpuni genom bilo kojeg životnoga oblika.

Nastavlja i teoretizira da ćemo do 2050. moći sastaviti cijeli organizam iz samoga genoma. Piše: “Vjerujem da ćemo do 2050. biti u stanju čitati jezik života. Unijet ćemo genom nepoznate životinje u računalo, i ono će rekonstruirati ne samo oblik životinje nego i detaljni svijet u kojemu su živjeli njezini preci živjeli, grabežljivce i plijen, parazite i domaćine, mjesta gniježđenja, čak i nade i strahove.” Citirajući Sydneya Brennera, Dawkins vjeruje da možemo rekonstruirati genom “nestale karike” između ljudi i majmuna.

To bi uistinu bio zapanjujući napredak. Sudeći prema fosilnim i DNA-dokazima, odvojili smo se od majmuna prije 6 milijuna godina.

Budući da se naša DNA razlikuje od DNA čimpanze za samo 1,5 posto, u budućnosti će računalo moći analizirati našu DNA i čimpanzinu DNA i matematički izračunati DNA našega zajedničkoga pretka od kojega su nastale obje vrste. Kad hipotetski genom našeg zajedničkoga pretka bude matematički rekonstruiran, računalni program će nam pružiti vizualnu rekonstrukciju i njegove karakteristike. On to naziva Lucy Genome Project, nazvan prema slavnome fosilu australopiteka.

Kad bi se genom matematički rekonstruirao računalnim programom, mogli bismo stvoriti DNA toga organizma, ubrizgati ga u ljudsko jajašce i unijeti u maternicu žene, koja bi tada rodila našega pretka.

Premda bi takav scenarij bio odbačen kao groteskan prije nekoliko godina, ozbiljan napredak ukazuje da i nije toliko daleko.

Šačica gena koja nas razlikuje od čimpanzi prolazi kroz detaljnu analizu. Zanimljiv kandidat je gen ASPM koji kontrolira veličinu mozga. Ljudski se mozak povećao prije nekoliko milijuna godina iz nerazjašnjenih razloga. Kad taj gen mutira, prouzrokuje mikrokefalizam kod kojega se smanjuje lubanja i mozak za 70 posto, na razinu naših predaka prije nekoliko milijuna godina. Zanimljivo je da uporabom računala možemo analizirati povijest toga gena. Analize pokazuju da je mutirao 15 puta u zadnjih 5 do 6 milijuna godina otkada smo se razdvojili od čimpanzi, a to

koincidira s razvojem veličine mozga. Zanimljivo je da su ljudi, za razliku od naših rođaka, iskusili veliku stopu promjena u tome ključnome genu.

Još je zanimljivija regija HAR1 u genomu koja sadrži samo 118 slova. Otkriveno je 2004. da je ključna razlika između čimpanzi i ljudi u tome području samo 18 slova ili nukleinskih kiselina. Čimpanze i kokoši su se razdvojili prije 300 milijuna godina, a ipak se njihovi temeljni parovi u HAR1 regiji razlikuju samo u dva slova. To znači da je regija HAR1 bila začudno stabilna kroz evolucijsku povijest do dolaska ljudi. Možda su geni koji nas određuju ljudima smješteni u tome području.

Dawkinsov prijedlog se čini izvediv, a potvrđuju ga i drugi zapanjujući napretci. Sekvencioniran je potpuni genom našega najbližeg genetskoga susjeda, davno izumrloga neandertalca. Možda ćemo analizom genoma ljudi, čimpanze i neandertalca čisto matematičkom metodom uspjeti rekonstruirati izgubljenu kariku.

USKRSNUTI NEANDERTALCA?

Ljudi i neandertalci su se vjerojatno razdvojili prije 300 000 godina. Neandertalci su izumrli prije 30 000 godina u Europi. Dugo se smatralo da je nemoguće izdvojiti iskoristivu DNA iz davno umrlih neandertalaca.

Svante Pääbo i njegova skupina s Instituta za evolucijsku antropologiju Max Planck u Leipzigu 2007. su pružili prvu skicu čitavoga genoma neandertalca analizom DNA šestorice neandertalaca. Bio je to monumentalan podvig. Neandertalčev genom bio je, prema očekivanjima, vrlo sličan ljudskomu genomu i oba sadrže tri milijarde temeljnih parova koji se razlikuju u određenim ključnim detaljima.

Antropolog Richard Klein sa Stanforda objašnjava rad Pääboa i njegovih kolega i nadu da će ova rekonstrukcija odgovoriti na dugo neodgovorena pitanja o ponašanju neandertalaca. Primjerice, jesu li mogli govoriti? Kod ljudi se javlja posebna promjena u genu FOXP2 koji nam omogućuje da govorimo na tisuće riječi. Pobliže istraživanje je pokazalo da je neandertalac imao iste promjene u svome genu FOXP2. Moguće je zamisliti da je neandertalac imao iste sposobnosti vokalizacije kao i mi.

Budući da su nam neandertalci najbliži genetski rođaci, privlače velik interes među znanstvenicima. Neki su govorili o mogućnosti rekonstruiranja DNA neandertalca i njegova umetanja u jajašce koje bi jednoga dana moglo dati pravoga neandertalca. Nakon tisuća godina neandertalac bi opet mogao hodati površinom Zemlje.

George Church s Harvard Medical School procjenjuje da će uskrsavanje neandertalca koštati samo 30 milijuna dolara, a on je i izložio plan izvedbe. Prvo bi se razdijelio čitav ljudski genom na komade od 100 000 parova DNA. Svaki bi se umetnuo u bakteriju i genetski izmijenio tako da odgovara genomu neandertalca. Svaki od izmijenjenih komada DNA skupio bi se u potpuni DNA neandertalca.

Ova bi se stanica reprogramirala i svela na embrionalno stanje te bi bila unesena u utrobu ženke čimpanze.

Klein sa Stanforda ipak se dvoji oko nekih točaka: “Hoćemo li ih staviti na Harvard ili u zoološki vrt?”

Sve te rasprave o uskrsavanju davno izumrlih vrsta poput neandertalca “bez sumnje će

postaviti mnoga etička pitanja", upozorava Dawkins. Hoće li neandertalac imati prava? Što se događa kad se on ili ona poželi razmnožavati? Tko je odgovoran ako ona ili on nastrada ili ozlijedi koga?

Ako se može uskrsnuti neandertalca, mogu li znanstvenici stvoriti zoološki vrt davno iščezlih vrsta poput mamuta?

USKRSNUTI MAMUTA?

Ova ideja nije toliko luda koliko zvuči. Znanstvenici su već uspjeli sekvencionirati velik dio genoma izumrloga sibirskoga mamuta. Sićušni fragmenti DNA bili su izdvojeni iz vunastih mamuta smrznutih u Sibiru prije nekoliko desetaka tisuća godina. Webb Miller i Stephan C. Schuster sa Sveučilišta Pennsylvania State postigli su nemoguće: izdvojili su tri milijarde temeljnih parova DNA iz smrznutih kostura mamuta. Dotada je rekord u sekvencioniranju DNA neke izumrle vrste bio samo 13 milijuna temeljnih parova, manje od 1 posto genoma životinje. (Nov uređaj za sekvencioniranje je omogućio taj napredak. Dopušta skeniranje tisuća gena odjednom, a ne pojedinačno.) Također je trebalo znati gdje treba tražiti staru DNA. Miller i Schuster su shvatili da folikul dlake vunastoga mamuta sadrži najbolju DNA, a ne sama krv.

Ideja uskrsavanja izumrlih životinja pomalo postaje biološki moguća. "Prije godinu dana to bih smatrao znanstvenom fantastikom", kazao je Schuster. Danas, kad je toliki dio genoma mamuta sekvencioniran, to više nije nezamislivo. Čak je i projektirao moguću izvedbu. Procjenjuje da bi samo 400 000 promjena u DNA azijskoga slona stvorilo životinju nalik vunastome mamutu. Moguće je genetički izmijeniti slonovu DNA da se prilagodi promjenama, unijeti u jezgru slonovoga jajašca i potom unijeti jajašce u ženku slona.

Skupina već pokušava sekvencionirati DNA još jedne izumrle životinjske vrste, tilacina, australijskoga tobolčara, uskoga srodnika tasmanskoga vraga. Priča se i o sekvencioniranju DNA ptice dodo. "Mrtav kao dodo" je uobičajen izraz u engleskome jeziku, ali bi mogao izaći iz uporabe, ako znanstvenici uspiju izdvojiti iskoristivu DNA iz mekoga tkiva i kostura doda koji postoje u Oxfordu i drugdje.

JURSKI PARK?

To dovodi do pitanja: možemo li uskrsnuti dinosaure? Jednom riječju, vjerojatno ne. Jurski park ovisi o izdvajanju netaknute DNA iz odavno izumrlih životnih oblika. 65 milijuna godina čini taj zadatak nemogućim. Premda je pronađeno nešto mekoga tkiva u bedrenim kostima fosila dinosaura, dosada se nije uspjela izdvojiti DNA, samo proteini. Premda su ti proteini kemijski dokazali blisku srodnost između Tyrannosaurusa rexa i žabe i kokoši, to je daleko od mogućnosti izdvajanja čitavoga genoma dinosaura.

Dawkins pretpostavlja mogućnost genetske usporedbe genoma različitih ptičjih vrsta s genomom reptila, a zatim matematičkom rekonstrukcijom uspostavljanje genoma "općeg dinosaura". On dodaje da je moguće navesti kokošji kljun da u njemu naraste pupoljak zuba (ili zmiju da dobije noge). Stare osobine koje su davno nestale u kretanju vremena možda još ostaju zapisane u genomu.

Danas biolozi znaju da se geni mogu upaliti i ugasiti. Stare osobine mogu biti upaljene u uspavanim genima. Dovoljno je upaliti gene.

U davnoj prošlosti kokoši su imale plivaću kožicu na nogama. Njihov gen nije nestao nego se jednostavno ugasio. Njegovim paljenjem možemo stvoriti kokoš s plivaćim kožicama. Srodno tome, ljudi su nekoć bili prekriveni krznom. Izgubili smo ga kad smo se počeli znojiti, što je vrlo učinkovito za reguliranje tjelesne temperature. (Psi nemaju žlijezde znojenja pa se hlade dahtanjem.) Gen za ljudsko krzno još uvijek postoji, ali je isključen. Uključivanjem toga gena, mogli bismo imati ljude s krznom po cijelom tijelu. (Neki pretpostavljaju da je to pokrenulo legende o vukodlaku.)

Ako pretpostavimo da su neki geni dinosaura isključeni, ali da još uvijek postoje u genomu ptica, mogli bismo reaktivirati uspavane gene i stvoriti osobine dinosaura kod ptica. Dawkinsov prijedlog je spekulativan, ali ne i nezamisliv.

STVARANJE NOVIH ŽIVOTNIH OBLIKA

To postavlja zadnje pitanje: Možemo li stvarati život u skladu s našim željama? Možemo li stvarati ne samo davno izumrle životinje, nego i one koje nikada nisu postojale? Možemo li napraviti svinju s krilima ili bića opisana u drevnim mitologijama? Čak do kraja ovoga stoljeća, znanost neće moći stvarati životinje po narudžbi. Međutim, znanost će proći dug put do sposobnosti mijenjanja životinjskoga carstva.

Dosad je ograničavajući čimbenik bila sposobnost pomicanja gena. Samo jednostruki geni mogu se pouzdano modificirati. Moguće je naći gen koji uzrokuje da neke životinje svijetle u mraku. Taj gen može biti izoliran i stavljen u druge životinje da i one svijetle u mraku. Istraživanje se nastavlja i domaće životinje dobivaju modifikacije dodavanjem jednostrukih gena.

Stvaranje potpuno nove vrste životinja, poput himere iz grčke mitologije (mješavina triju različitih životinja), zahtijeva transpoziciju tisuća gena. Za stvaranje svinje s krilima morali bismo pomaknuti stotine gena koji predstavljaju krila i pobrinuti se da se mišići i krvne žile savršeno poklapaju. To je potpuno neizvedivo danas.

Međutim, postignut je napredak koji bi mogao olakšati ovu futurističku mogućnost. Biolozi su zadivljeni pronalaskom gena koji određuju raspored tijela (od glave do pete) koji u detalje odgovara rasporedu prema kojemu se javljaju u kromosomima. Nazivaju se HOX geni i opisuju kako je tijelo konstruirano. Priroda je krenula prečicom, jer red organa u tijelu odgovara sljedovima samim kromosomima. Proces dešifriranja evolucijske povijesti gena je time itekako ubrzan.

Postoje geni gospodari koji upravljaju osobinama ostalih gena. Manipuliranjem nekolicine tih gena možete manipulirati osobinama desetaka drugih gena.

Majka priroda je odlučila stvoriti nacrt tijela na način na koji arhitekt stvara svoje tlocrte. Geometrijski prikaz tlocrta je uređen u istome redu kao i stvarni fizički plan gradilišta. Tlocrti su također modularni tako da imamo pod-tlocrte u svakom glavnom tlocrtu.

Osim stvaranja potpuno novih vrsta životinja iskorištavanjem modularnosti genoma, postoji mogućnost primjene genetike na ljude da korištenjem biotehnologije oživimo povijesne ličnosti. Lanza vjeruje da se iz davno umrlih osoba može izvući netaknuta stanica koja će omogućiti njihovo uskrsavanje. Westminsterska opatija sadrži pažljivo očuvana tijela davno umrlih kraljeva i kraljica, kao i pjesnika, vjerskih ličnosti, političara, čak i znanstvenika poput Isaaca Newtona. Jednog dana, povjerio mi je Lanza, moći ćemo ih na temelju netaknute DNA iz njihovih stanica

oživjeti.

U filmu Dječaci iz Brazila radnja se vrti oko oživljavanja Hitlera. Ne treba, međutim, vjerovati da ćemo vratiti nečiji genij, zlo ili slavu, ako ga uskrsnemo. Jedan je biolog zgodno rekao da bismo uskrsavanjem Hitlera vjerojatno dobili drugorazrednoga umjetnika (što je Hitler bio prije nego što je došao na čelo nacističkoga pokreta).

UKLANJANJE SVIH BOLESTI?

Proročanski film Obrisi budućnosti temelji se na romanu H. G. Wellsa i opisuje budućnost civilizacije u kojemu Drugi svjetski rat pokreće beskrajnu lavinu patnje i bijede. Na kraju su sva postignuća ljudskoga roda svedena na ništicu, a skupine vojnih glavešina vladaju slomljenim i osiromašenim pukom. Na kraju filma skupina dalekovidnih znanstvenika naoružanih super-oružjem počinje nametati red. Civilizacija se napokon ponovno uzdiže iz pepela. U jednoj sceni djevojčica uči brutalnu povijest 20. stoljeća i uči o nečemu što se naziva prehlada. "Što je prehlada?", pita ona. Kažu joj da je prehlada bolest koja je odavna izliječena.

Možda ne.

Izlječenje od svih bolesti jedan je od najstarijih ciljeva čovječanstva. Ipak, čak ni do 2100. nećemo izliječiti sve bolesti, jer one mutiraju brže no što ih možemo izliječiti. Zaboravljamo da živimo u oceanu virusa i bakterija koje su postojale milijardama godina prije dolaska čovjeka i koje će postojati daleko poslije našega nestanka.

Mnoge su bolesti izvorno prešle sa životinja na čovjeka. To je cijena koju plaćamo za pripitomljavanje životinja koje smo započeli prije otprilike 10 000 godina. Postoje ogromne zalihe bolesti koje prijete od životinja i koje će trajati duže od ljudskoga roda. Te bolesti napadaju samo malene šačice pojedinaca. Stvaranjem velikih gradova prijenosne se bolesti mogu brzo raširiti među ljudskom populacijom i doseći kritičnu masu i prerasti u pandemiju.

Kad su znanstvenici analizirali genom virusa gripe, bili su iznenađeni da je njegov izvor ptica. Mnoge ptice mogu nositi razne inačice virusa gripe bez ikakvog negativnog učinka. Svinje ponekad djeluju kao genetske zdjele za miješanje nakon što pojedu ptičji izmet. Seljaci obično žive nedaleko. Neki spekuliraju da je to razlog što virus gripe često dolazi iz Azije, jer seljaci ondje čuvaju i svinje i patke.

Nedavna epidemija virusa H1N1 samo je najsvježija mutacija ptičje i svinjske gripe.

Problem je u neprestanom širenju ljudskih obitavališta u nove okoliše obaranjem šuma, građenjem predgrađa i tvornica i neprestanom izlaganju starim bolestima koje prijete među životinjama. Budući da se ljudska populacija širi, to znači da će se pojavljivati nove bolesti.

Primjerice, postoji poprilična količina dokaza da je HIV počeo kao virus majmunske imunodeficijencije (SIV) koji je napadao majmune i prešao na ljude. Hantavirus je napadao ljude na jugozapadu planete kad su stupili na teritorij prerijskih glodavaca. Lajmska borelioza koju prenose krpelji napada predgrađa sjeveroistoka, jer ljudi sada grade kuće blizu šuma u kojima žive krpelji. Virus ebole je vjerojatno napadao plemena u dalekoj prošlosti. Tek je pojavom zrakoplova zahvatio veću populaciju i dospio u naslovnice novina. Čak je i legionarska bolest stara. Ona se množi u vodama stajaćicama, ali se širenjem klimatizacijskih uređaja počela širiti na starije ljude na kruzerima.

To znači da nas očekuju brojna iznenađenja, s novim valom egzotičnih bolesti koje će prevladavati u naslovima budućnosti. Nažalost, lijekovi za te bolesti možda će se prekasno otkriti. Na primjer, čak i najobičnija gripa trenutačno nema lijeka. Mnoštvo lijekova protiv gripe koje možemo naći u bilo kojoj ljekarni ne ubijaju virus koji izaziva bolest već liječe njezine simptome. Problem je u tome što postoji više od 300 različitih vrsta rinovirusa koji izazivaju običnu gripu i jednostavno je preskupo napraviti cjepivo protiv njih 300.

Situacija s virusom HIV-a je mnogo gora, budući da postoje na tisuće različitih virusa. U biti, virus HIV-a mutira takvom brzinom da je nemoguće stvoriti cjepivo za sve njegove oblike. Mogućnost pronalaženja cjepiva protiv HIV-a jednako je mogućnosti pogotka mete koja se kreće.

Dakle, dok budemo liječili bolesti u budućnosti, vjerojatno ćemo se još uvijek suočavati s istim bolestima čije izlječenje izmiče našim najnaprednijim znanostima.

VRLI NOVI SVIJET

Do 2100., kad budemo imali kontrolu nad svojom genetskom sudbinom, morat ćemo usporediti svoju sudbinu s distopijom koju je iznio Aldous Huxley u svojoj proročkoj noveli Vrli novi svijet čija se radnja odvija 2540. godine. Knjiga je prouzročila sveopći šok i užasavanje 1932. kada je objavljena.

Već nakon 75 godina od objavljivanja knjige mnoga su se autorova predviđanja obistinila. Britansko se društvo skandaliziralo kad je pisao o djeci iz epruvete, o stvaranju i rađanju kao odvojenim činovima, i o uzimanju lijekova koje će biti uobičajeno, a već danas živimo u svijetu kada se in vitro oplodnja i kontracepcijske pilule uzimaju zdravo za gotovo. (Od značajnijih predviđanja još se nije ostvarilo kloniranje čovjeka.) Zamislio je hijerarhiju u kojoj liječnici promišljeno kloniraju oštećene ljudske embrije koji se razvijaju da bi postali sluge vladajuće elite. Ovisno o razini mentalne zaostalosti ljudi bi se svrstavali u Alfe, koje su savršene i predodređene da vladaju, ili Epsilone koji su nešto više od mentalno zaostalih robova. Tehnologija bi dakle, umjesto da oslobodi čovjeka od siromaštva, neznanja i bolesti, postala noćna mora koja bi prisilno stvarala umjetnu i korumpiranu stabilnost na račun porobljavanja cijele populacije.

Premda su se određena predviđanja pokazala točnima, Huxley nije predvidio genetsko inženjerstvo. Da je poznavao tu tehnologiju, sigurno bi se zapitao neke druge stvari: hoće li se ljudska rasa raspasti na fragmente, s hirovitim roditeljima i upravama koje su zastranile miješajući se u gene naše djece? Roditelji već svoju djecu neobično odijevaju i šalju ih na razna smiješna natjecanja, pa zašto onda ne bi promijenili gene svojoj djeci kako bi ona posve odgovarala njihovim hirovima? Zaista, roditelji su već toliko uključeni u evoluciju da bi dali sve povlastice svom potomstvu, pa zašto ne bi mijenjali i njihove gene?

Kao osnovni primjer onog što bi moglo poći po zlu uzmite ultrazvuk. Premda su liječnici naivno uveli ultrazvuk kao pomoć u trudnoći, on je doveo do mnogih pobačaja ženskih fetusa, pogotovo u seoskim krajevima Kine i Indije. Jedno istraživanje u Bombayu pokazuje da je 7 997 od 8 000 pobačene djece bilo ženskog spola. U Južnoj Koreji 65 posto trećerođene djece je muškog spola. Ta generacija djece čiji su roditelji odabrali pobačaj na temelju spola sad je u godinama kad bi se trebali ženiti i milijuni njih smatraju da nema dovoljno žena. Zbog toga može doći do ogromnih promjena u društvu. Seljaci koji su htjeli isključivo mušku djecu koja bi nastavila njihovu lozu neće imati praunučadi.

U SAD-u jako je raširena zlouporaba ljudskog hormona za rast (HGH) za koji se često smatra

da je i lijek protiv starenja. Hormon za rast u biti je namijenjen vrlo niskoj djeci. Umjesto toga hormon za rast je postao vrlo proširen na crnom tržištu zahvaljujući nepouzdanom mišljenju o sprječavanju starenja. Zapravo je internet stvorio ogromnu količinu populacije ljudskih zamoraca na kojima se isprobavaju različite terapije.

Dakle, ukoliko ljudima pružite priliku, vrlo često će zloupotrijebiti tehnologiju i učiniti nenormalno velike količine štete. Što će se dogoditi ako se uhvate genetskog inženjeringa?

U najgorem slučaju ostvarit će se noćna mora koju je zamislio H. G. Wells u svojoj klasičnoj, znanstvenofantastičnoj noveli Vremeplov u kojoj se ljudska rasa 802 701. godine Gospodnje razdvojila na dva dijela. Ovako je zapisao: "S vremenom mi se ukazala istina: da čovjek nije ostao unutar jedne rase, nego se razdvojio na dvije različite životinje: da moja dražesna djeca iz Višeg svijeta nisu bila jedini potomci naše generacije, nego da je ova izblijedjela, sramotna, noćna Stvar koja se pojavila preda mnom također bila nasljeđe svim generacijama."

Kako bismo vidjeli koje su sve varijacije ljudske vrste moguće potrebno je samo pogledati kućnog psa. Premda postoji na tisuće pasmina sve one imaju zajedničkoga pretka Canis lupus, sivog vuka koji je pripitomljen prije otprilike 10 000 godina, na kraju ledenog doba. Zbog selektivnog uzgoja psi danas dolaze u različitim veličinama i oblicima. Upravo zbog selektivnog uzgoja oblik tijela, karakter, boja i sposobnosti pasa vrlo su različiti.

Budući da su psi oko sedam puta brži od ljudi možemo procijeniti da se izmijenilo oko 1000 generacija pasa prije nego što su se u potpunosti odvojili od vuka. Primijenimo li to na ljude onda bi sustavni uzgoj ljudi mogao razdvojiti ljudsku rasu na tisuće rasa u samo 70 000 godina, premda su potekli od istog pretka. S genetskim inženjeringom taj bi proces mogao biti uvjerljivo brži, čak bi se mogao smanjiti na samo jednu generaciju.

Srećom, postoje razlozi koji nas tjeraju da vjerujemo da do razdvajanja ljudske vrste ipak neće doći, bar ne u nadolazećem stoljeću. U evoluciji inače do razilaženja vrste dolazi ukoliko dođe do geografskog razdvajanja u dvije odvojene populacije. To se dogodilo, primjerice, u Australiji, gdje je fizička razdvojenost mnogih životinjskih vrsta dovela do toga da tamo žive životinje koje ne možemo naći nigdje drugdje na Zemlji. Primjer za to su tobolčari poput klokana. Nasuprot tome, ljudska je rasa vrlo pokretna i bez evolucijskih prepreka i vrlo je izmiješana.

Kao što je rekao Gregory Stock s Kalifornijskog sveučilišta: "Tradicionalnom Darwinovom evolucijom dosada nije došlo ni do kakvih promjena kod ljudi i vrlo je malo mogućnosti da će se one dogoditi u bližoj budućnosti. Ljudska je rasa prevelika i previše zamršena i odabrani pritisci su prelokalizirani i prolazni."

Postoje također i ograničenja koja su naslijeđena od načela špiljskog pračovjeka.

Kao što smo već spominjali, ljudi često odbijaju tehnološke napretke (npr. ured bez papira) kad se oni kose s ljudskom prirodom, što je zadržalo skoro neprestano više od zadnjih 100 000 godina. Ljudi možda neće htjeti stvoriti umjetnu djecu koja nisu u skladu s normama i njihovi vršnjaci ih smatraju čudnima. To bi smanjilo njihovu mogućnost da uspiju u društvu. Oblačenje djece u čudnu odjeću je jedno, ali potpuno mijenjanje njihova genskog nasljeđa je posve drugo. (Na slobodnom tržištu vjerojatno će biti mjesta za vrlo neobične gene, ali ono će biti vrlo malo jer će raditi prema narudžbama naručitelja.) Više je nego moguće da će do kraja stoljeća par moći birati gene, posebice one koji eliminiraju genetske bolesti, ali i one za genetsko poboljšanje. Bilo kako bilo, postojat će mali tržišni pritisak za financiranje neobičnih gena budući da će potražnja biti jako mala.

Prava opasnost ipak ne dolazi od privatnih potrošača, već od vlada koje će htjeti upotrebljavati genetski inženjering za svoje potrebe, kao što je odgoj snažnijih i poslušnijih vojnika.

Drugi će se problem pojaviti u dalekoj budućnosti kada budu postojale svemirske kolonije na drugim planetima čiji su gravitacijski i klimatski uvjeti mnogo drugačiji od onih na Zemlji. S tog stajališta moguće je zamisliti da će možda već u sljedećem stoljeću doći do stvaranja nove vrste ljudi koja će biti prilagođena drugačijim gravitacijskim i atmosferskim uvjetima. Npr., nova vrsta će možda će biti sposobna udisati drugačije količine kisika, bit će možda prilagođena drugačijem trajanju dana i imat će drugačiju tjelesnu težinu i metabolizam. Međutim svemirski letovi još će dugo biti jako skupi. Možda ćemo do kraja stoljeća već imati malo naselje na Marsu, ali velika većina ljudi i dalje će živjeti na Zemlji. Još par desetljeća, pa i stoljeća, svemirski će letovi biti rezervirani za astronaute, neke jako bogate ljude i za pregršt izdržljivih svemirskih kolonista.

Dakle razdvajanje ljudske rase u različite svemirske vrste u sunčevom sustavu i dalje neće se dogoditi u tom, pa vjerojatno niti u sljedećem stoljeću. U predvidivoj budućnosti, osim ako ne dođe do ogromnih promjena u svemirskoj tehnologiji, ljudi će ostati i dalje na Zemlji.

Ipak postoji još jedna prijetnja s kojom ćemo se suočiti prije 2100., a to je da će se ta tehnologija vrlo promišljeno okrenuti protiv nas i to u obliku biološkog rata.

BIOLOŠKI RAT

Biološki je rat star kao Biblija. Stari su ratnici bacali zaražena tijela preko zidina neprijateljskih gradova ili bi trovali njihove bunare ubacujući u njih tijela zaraženih životinja. Još jedan način uništavanja neprijatelja bio je poklanjanje neprijatelju odjeće koja je bila zaražena velikim boginjama. Moderna tehnologija omogućava genetsko uzgajanje bakterija koje se koriste da bi se pogubili milijuni ljudi.

USA i Sovjetski Savez potpisali su 1972. sporazum o nekorištenju biološkog oružja u ofenzivne svrhe. Danas, u vrijeme kad su tehnologija i bioenergija toliko uznapredovale, bilo kakvi sporazumi su besmisleni.

Kao prvo, u istraživanju DNA ne postoje ofenzivne i defenzivne tehnologije. Manipulacija genima može poslužiti u obje navedene svrhe.

Potom možemo vidjeti da je s genetskim inženjeringom moguće stvoriti ubojite bakterije, one koje se namjerno mijenjaju kako bi povećale smrtnost i mogućnost širenja u okolišu. Nekoć se smatralo da samo SAD i Rusija posjeduju epruvete s velikim boginjama koje su usmrtile najveći broj u povijesti ljudskoga roda. Sovjetski disident 1992. potvrdio je da su Rusi od velikih boginja načinili oružje proizvevši više od dvadeset tona virusa. Raspadom Sovjetskog Saveza pojavio se strah da bi jednoga dana grupa terorista mogla doći do oružja - velikih boginja.

Biolozi su 2005. uspješno rekonstruirali virus španjolske gripe iz 1918. koji je pogubio više ljudi nego Prvi svjetski rat. Uspješno su rekonstruirali virus analizirajući ženu koja je od njega umrla i koja je bila spaljena u regiji vječnog leda na Aljaski. Analizirali su i posmrtne ostatke zaraženog američkog vojnika.

Znanstvenici su cijeli virusni genom objavili na internetu tako da je on postao poznat cijelom svijetu. Mnogi su se njihovi kolege pobunili protiv toga jer nisu smatrali ispravnim da bilo koji student, koji ima pristup laboratoriju, jednoga dana bude u mogućnosti da rekonstruira virus koji

je bio jedan od najvećih ubojica u povijesti.

Ukratko, objavljivanje genoma Španjolske gripe bio je zlatni rudnik za znanstvenike koji su mogli ispitivati gene kako bi dovršili do tada nedovršenu slagalicu, odnosno kako bi odgovorili na pitanje: kako je moguće da tako sitna mutacija uzrokuje tako veliku smrtnost ljudske rase? Odgovor je uskoro pronađen. Virus španjolske gripe, za razliku od drugih, izaziva ljudski imunološki sustav na pretjerano djelovanje, što dovodi do velikog gubitka tekućine, što rezultira smrću pacijenta. Čovjek se doslovno utapa u vlastitoj tekućini. Jednom kad je to postalo jasno, geni koji uzrokuju taj smrtonosni učinak mogli su biti uspoređeni s H1N1 gripom i drugim virusima. Nasreću, ti virusi nisu imali ovaj smrtonosni gen. Štoviše, moglo se izračunati koliko blizu je virus da poprimi ovu alarmantnu sposobnost. Virus H1N1 daleko je od postizanja takvih sposobnosti.

No gledamo li na dulje staze, praksa plaća cijenu. Svake godine postaje sve lakše manipulirati genima živućih organizama. Cijene se smanjuju, a informacije su sve dostupnije putem interneta.

Neki znanstvenici vjeruju da će za nekoliko desetljeća biti moguće napraviti stroj koji će moći stvoriti bilo koji gen jednostavnim utipkavanjem željenih sastavnica. Utipkavanjem A-T-C-G simbola za pojedine sastavnice, stroj će automatski stvoriti DNA kako bi dobio željeni gen. Bude li tako, čini se da će jednoga dana i srednjoškolci imati mogućnost manipulirati životnim oblicima.

Jedan od zastrašujućih scenarija jest stvaranje AIDS virusa. Hladni virusi npr. posjeduju nekoliko gena koji im omogućavaju preživljavanje u kapljicama aerosola, tako da se mogu prenositi kihanjem. Dosad je virus AIDS-a bio poprilično ranjiv kad bi se izložio uvjetima okoliša. No, ako se geni hladnih virusa usade u virus AIDS-a, postoji mogućnost da se on održi i izvan ljudskoga tijela. Takav razvoj priče mogao bi uzrokovati širenje AIDS virusa koji bi s lakoćom zarazio veliki dio čovječanstva. Poznato je da virusi i bakterije izmjenjuju gene, dakle postoji mogućnost da AIDS i obični virus gripe izmijene gene prirodnim putem. Ta mogućnost ipak je vrlo mala.

U budućnosti bi se moglo dogoditi da terorističke grupe počnu upotrebljavati virus AIDS-a kao oružje. Jedino što ih sprječava jest činjenica da bi i oni bili ugroženi ukoliko bi virus bio sposoban sam opstati u okolišu.

Ova prijetnja postala je stvarna nakon tragedije 11. 9. Nepoznata je osoba dostavila pakete političarima diljem države. U njima se nalazio bijeli puder koji je sadržavao spore antraksa. Mikroskopskom analizom bijelog pudera potvrđeno je da su spore antraksa bile maksimalno ubojite. Odjednom je cijela zemlja bila u strahu da teroristi imaju pristup naprednom biološkom oružju. Premda se antraks nalazi u tlu i svugdje oko nas u okolišu, samo je stručnjak mogao iz njega izvući te osobine.

Čak i nakon jedne od najvećih tjeralica u povijesti SAD-a krivac nije pronađen sve do današnjeg dana (a glavni je osumnjičenik počinio samoubojstvo). Poanta svega jest činjenica da samo jedan biološki izučen čovjek može zastrašiti cijelu naciju.

Jedini faktor koji je sprječavao biološki rat bio je vlastiti interes. Za vrijeme Prvog svjetskog rata učinkovitost otrovnog plina na bojnom polju bila je relativna. Vjetar je često bio nepredvidiv, tako da se plin vraćao prema trupama koje su ga ispuštale. Otrovnim plinom nije se namjeravalo pobijediti neprijatelja, već ga mučiti. Niti jedna odlučujuća bitka nije bila dobivena pomoću

otrovnog plina. Čak na vrhuncu Hladnog rata obje su strane znale da uporaba otrovnog plina i biološkog oružja može imati neočekivane posljedice te doseći razinu nuklearnog sukoba.

Svi navedeni argumenti u ovom ulomku uključuju manipuliranje genima, proteinima i molekulama. Sljedeće pitanje postavlja se samo od sebe: do koje je mjere moguće manipulirati pojedinačnim atomom?

4. NANOTEHNOLOGIJA

Sve ni iz čega?

Načela fizike, koliko mogu vidjeti, ne govore protiv mogućnosti rukovanja stvarima atom po atom.

— RICHARD FEYNMAN, DOBITNIK NOBELOVE NAGRADE

Nanotehnologija nam je dala oruđe da se igramo s najvećim sandukom s igračkama u prirodi – s atomima i molekulama. Sve je od njih napravljeno i mogućnosti stvaranja novih stvari čine se neograničene.

— HORST STORMER, DOBITNIK NOBELOVE NAGRADE

Uloga beskrajno maloga jest beskrajno velika.

— LOUIS PASTEUR

Savladavanje oruđa je krunsko postignuće koje razdvaja čovječanstvo od životinja. Sukladno grčkoj i rimskoj mitologiji, taj proces je započeo kad je Prometej, sažalijevajući se nad stanjem ljudi, ukrao vrijedni dar vatre iz Vulkanove peći. No, taj čin krađe je razbjesnio bogove. Kako bi kaznio čovječanstvo, Zeus je smislio pametan trik. Zamolio je Vulkana da iskuje kutiju i prekrasnu ženu od metala. Vulkan je izradio ovu skulpturu, zvanu Pandora, te ju oživio i rekao da nikada ne smije otvoriti kutiju. Jednoga ju je dana otvorila iz znatiželje te oslobodila sve vjetrove kaosa, bijede i patnje u svijetu, ostavljajući samo nadu u kutiji.

Snovi i patnja ljudske rase zajedno su izbili na površinu iz Vulkanove božanske peći. Danas projektiramo revolucionarne nove strojeve koji su krajnji alati, kovani od pojedinačnih atoma. No, hoće li oni osloboditi vatru prosvjetljenja i znanja ili vjetrove kaosa?

Kroz čitavu ljudsku povijest sudbinu čovječanstva je određivala vještina alata. Kad su prije nekoliko tisuća godina usavršeni luk i strijela, mogli smo ispaliti projektile dalje od snage naše ruke, povećavajući tako učinkovitost lova i omogućavajući veće zalihe hrane. Kad je izmišljena metalurgija, prije otprilike 7000 godina, kolibe od blata i slame zamijenile su visoke građevine koje strše visoko iznad zemlje. Uskoro su se mnoga carstva izdigla iz pustinja i šuma, izgrađena alatom i iskovana u metalu.

A sad smo na rubu da zagospodarimo još jednom vrstom alata, mnogo moćnijim od ičega prije. Ovoga puta bit ćemo u mogućnosti svladati atome od kojih je sve stvoreno. Vjerojatno ćemo unutar ovog stoljeća posjedovati najvažniji alat ikada zamišljen – nanotehnologiju koja će nam omogućiti manipuliranje pojedinačnim atomima. To bi moglo potaknuti drugu industrijsku revoluciju, s obzirom na to da molekularna proizvodnja stvara nove materijale koji su superčvrsti, superlagani sa zapanjujućim električnim i magnetskim svojstvima, a o kojima danas možemo samo sanjati.

Dobitnik Nobelove nagrade Richard Smalley jednom je rekao: "Najveći san nanotehnologije jest graditi s atomima kao s građevinskim materijalom." Philip Kuekes iz Hewlett-Packarda izjavio je: "Naposljetku, nije cilj napraviti računala od čestica veličine prašine. Ideja je napraviti jednostavna računala veličine bakterije. Tek onda će biti moguće napraviti nešto snažno poput onoga što sad imate u veličini čestice prašine."

To nije samo nadanje naivnih vizionara. Američka ga vlada shvaća ozbiljno. Zbog beskrajnih mogućnosti nanotehnologije na području medicine, industrije, aeronautike i komercijalne uporabe, National Nanotechnology Inititative namijenila je 2009. 1,5 milijarde dolara za istraživanje. U izvješću vladine Nacionalne zaklade za znanost i nanotehnologiju stoji: "Nanotehnologija ima potencijal unaprijediti ljudska dostignuća, doprinijeti održivom razvoju materijala, vode, energije i hrane, štititi nas od nepoznatih bakterija i virusa..."

U konačnici, svjetska ekonomija i sudbina nacija ovise o tome. Oko 2020. ili nedugo poslije, Mooreov zakon će se početi sapletati i na kraju doživjeti slom. U svjetskoj bi ekonomiji mogao zavladati nered, ukoliko fizičari ne nađu odgovarajuću zamjenu za silicijske poluvodiče za pokretanje naših računala. Rješenje za taj problem nudi nanotehnologija.

Nanotehnologija bi mogla već krajem tog stoljeća stvoriti stroj kojim bi mogli samo bogovi upravljati, stroj koji bi mogao stvoriti nešto od gotovo ničega.

KVANTNI SVIJET

Prvi koji je skrenuo pozornost na to područje fizike bio je dobitnik Nobelove nagrade Richard Feynman postavivši varljivo jednostavno pitanje: "Koliko malen stroj možete proizvesti?" To nije bilo akademsko pitanje. Računala su postupno bila sve manja, mijenjajući lice industrije, te je postajalo jasno da bi odgovor na to pitanje mogao imati veliki utjecaj na društvo i ekonomiju.

U tom proročanskom govoru održanom 1959. pred American Physical Society, pod naslovom "Na dnu ima mnogo mjesta", Feynman je rekao: "Zanimljivo je da bi u načelu fizičaru bilo moguće (mislim) sintetizirati bilo koji kemijski spoj koji kemičar zapiše. Zadaš upute i fizičar ih sintetizira. Kako? Položiš atome tamo gdje je kemičar rekao i napraviš spoj." Feynman je zaključio da su strojevi izrađeni od pojedinačnih atoma mogući, ali bi ih bilo teško napraviti zbog novih zakona fizike.

Konačno, svijet ekonomije i sudbina naroda može ovisiti o bizarnim i pogrešnim načelima kvantne teorije. Inače, mi mislimo da zakoni fizike ostaju isti ako se spuštamo na niže razine. Ali to je netočno. U filmovima kao što su Disneyev *Draga, smanjio sam djecu* stvara se pogrešan dojam da će minijaturni ljudi podlijegati istim zakonima fizike kao i mi. Primjerice, u jednoj sceni Disneyjevog filma naši junaci jašu na mravu za vrijeme kišne oluje. Kapi kiše padaju na tlo stvarajući male lokve kao i u našem svijetu. Ali u stvarnosti, kapi kiše mogu biti veće od mrava zbog čega ih prilikom susreta on vidi kao vodene hemisfere. Vodene se hemisfere ne raspadaju jer

se površinska napetost ponaša kao mreža koja drži kapljice na okupu. U našem svijetu površinska napetost vode je mala pa je ne primjećujemo, dok je na razini mrava površinska napetost proporcionalno velika.

(Nadalje, ako pokušate povećati mrava na razinu kuće, imate novi problem: njegove bi noge pukle. Dok povećavate veličinu mrava, njegova težina raste mnogo brže u odnosu na snagu njegovih nogu. Kad biste uvećali mrava za 10 puta, volumen, i otuda težina, učinili biste ga 10 x 10 x 10 = 1000 puta težim. Ali snaga je povezana s čvrstoćom njegovih mišića koji su samo 10 x 10 = 100 puta snažniji. Otuda je div 10 puta slabiji, relativno govoreći, od običnog mrava. To također znači da bi se King Kong, umjesto teroriziranja grada New Yorka, srušio pri pokušaju penjanja po Empire State Buildingu.)

Feynman je primijetio da neke druge sile također dominiraju na atomskoj razini, kao vodikova veza i Van der Waalsova sila, uzrokovane neznatnim električnim silama koje postoje između atoma i molekula. Mnoge fizikalne osobine supstanci određene su tim silama.

(Kako biste to mogli predočiti, razmotrite jednostavan problem zašto na sjeveroistočnim autocestama ima toliko rupa. Svake zime voda prodire u sićušne pukotine na asfaltu; voda se širi dok se zamrzava uzrokujući raspadanje asfalta i dubljenje rupe. No, to se kosi sa zdravim razumom ako mislite da se voda smrzavajući širi. Voda se širi zbog uspostave vodikovih veza. Molekula vode ima oblik slova V s atomom kisika u bazi, zbog čega je negativno nabijena na dnu i pozitivno nabijena na vrhu. Otuda proizlazi širenje vode formiranjem mreže od leda s mnogo praznog prostora između molekula. Molekule vode grupirane su u obliku šesterokuta, što omogućava širenje vode pri zamrzavanju. Razlog tomu je praznina između atoma u šesterokutu. To je također razlog zbog čega snježne pahuljice imaju šest krakova i objašnjava zašto led pluta na vodi umjesto da potone.)

HODANJE KROZ ZIDOVE

Kao dodatak površinskoj napetosti, vodikovoj vezi i Van der Wallsovim silama također postoje bizarni kvantni učinci na razini atoma. Obično ne vidimo kvantne sile na djelu u svakodnevnom životu. No, kvantne sile su posvuda. Primjerice, budući da su atomi uglavnom prazni, trebali bismo biti u mogućnosti prolaziti kroz zidove. Između nukleusa u sredini atoma i elektronskog omotača nalazi se vakuum. Kad bi atom bio veličine nogometnog igrališta, tada bi stadion bio prazan budući da bi jezgra bila približno veličine zrna pijeska.

(Katkada zaprepastimo studente jednostavnim prikazom. Stavimo Geigerov brojač ispred studenta i ispustimo bezopasni radioaktivni metak u pozadini. Na studentovo čuđenje neke čestice prođu kroz njegovo tijelo do Geigerovog brojača koji se oglasi, kao da je studentovo tijelo uglavnom prazno, što zapravo i jest.)

Ako smo uglavnom prazni, zašto ne možemo prolaziti kroz zidove? U filmu *Duh,* lik kojeg glumi Patrick Swayze ubijen je te se pretvorio u duha. On je frustriran svaki put kad pokuša dotaknuti svoju bivšu zaručnicu, koju je glumila Demi Moore. Njegove ruke prolaze kroz običnu materiju; saznaje da nema materijalne supstance te da može letjeti kroz krute objekte. U jednoj sceni gura glavu kroz kola podzemne željeznice u pokretu ne osjećajući ništa. (Film ne objašnjava zašto ga gravitacija ne povlači kroz pod do središta Zemlje. Duhovi očito mogu proći kroz sve osim kroz podove.)

Prema tome, zašto mi ne možemo proći kroz krute objekte kao i duhovi? Odgovor se nalazi u

rijetkoj kvantnoj pojavi. Paulijevo načelo isključenja nalaže da ne mogu dva elektrona postojati u istom kvantnom stanju. Stoga, kad se dva približno ista elektrona približe jedan drugome, ,oni se odbijaju. To objašnjava razlog zbog čega se objekti čine krutim. Riječ je o iluziji jer je materija u osnovi prazna.

Dok sjedimo na stolici, mislimo da je dodirujemo. Zapravo, mi lebdimo nad njom za manje od jednog nanometra odbijajući se zbog njezinih električnih i kvantnih sila. To znači da, kad god "dodirujemo", ne možemo govoriti o izravnom kontaktu, već o razdvojenosti pomoću neznatnih atomskih sila. (Kad bismo uspjeli onemogućiti načelo isključenja, mogli bismo proći kroz zidove. Međutim, nitko ne zna kako to postići.)

Ne samo da kvantna teorija sprječava sudaranje atoma, već omogućuje i njihovo povezivanje u molekule. Zamislite na trenutak da je atom kao sićušni sunčev sustav s planetima koji se kreću oko Sunca. Ukoliko se dva takva sunčeva sustava sudare, doći se do sudara planeta ili će planeti odletjeti u raznim smjerovima uzrokujući krah sunčevog sustava. Sunčevi sustavi nikada nisu stabilni prilikom sudara s drugim sunčevim sustavom, zbog čega bi se i atomi trebali raspasti prilikom sudara s drugim atomima.

U stvarnosti, kad se dva atoma približe jedan drugome, oni se odbijaju jedan od drugoga ili zajedno tvore oblik stabilne molekule. Do stvaranja stabilnih molekula dolazi jer dva atoma mogu dijeliti elektrone. Naravno, ideja da dva atoma mogu dijeliti jedan elektron je besmislena. To bi bilo nemoguće kad bi elektroni poštovali zdravorazumskih Newtonovih zakona. No zbog Heisenbergovog načela neodređenosti mi ne znamo gdje je točno elektron. Zapravo, on je razliven negdje između dva atoma držeći ih na okupu.

Drugim riječima, ukoliko isključimo kvantnu teoriju, naše molekule se raspadaju u sudaru jednih s drugima i mi bismo se pretvorili u čestice plina. Zato kvantna teorija objašnjava kako se atomi mogu spojiti i oblikovati krutu materiju.

(To je također razlog zašto ne postoje svjetovi unutar svjetova. Neki ljudi smatraju da je naš sunčev sustav ili naša galaksija atom unutar nekog većeg svemira. To je bila posljednja scena u filmu *Ljudi u crnom* gdje je čitavi poznati svijet bio ustvari samo atom u lopti nekog vanzemaljca. Prema tvrdnjama fizike to je nemoguće s obzirom na to da se zakoni fizike mijenjaju prelazeći s jedne razine na drugu. Pravila koja upravljaju atomima potpuno su drukčija od pravila koja upravljaju galaksijama.)

Neka od načela kvantne teorije su:

- Nikad ne možemo znati točan položaj i frekvenciju bilo koje čestice – uvijek postoji nesigurnost
- U određenom smislu čestice mogu biti na dva mjesta u isto vrijeme
- Sve čestice postoje kao mješavina istodobno različitih stanja; primjerice, rotirajuće čestice mogu biti mješavine čestica čije se osi istodobno rotiraju prema gore i dolje
- Možemo nestati i nastati negdje drugdje

Sve te tvrdnje zvuče besmisleno. Einstein je jednom rekao: "Što je kvantna teorija uspješnija, to se čini besmislenijom." Nitko ne zna otkuda dolaze ti bizarni zakoni. Oni su pretpostavke bez objašnjenja. Samo jedna stvar ide u prilog kvantnoj teoriji: ona je točna. Njezina preciznost je izmjerena u 1 naprama 10 milijardi, čineći je tako najuspješnijom fizikalnom teorijom svih vremena. Razlog zašto ne vidimo te nevjerojatne pojave u svakodnevnom životu leži u činjenici da smo sastavljeni od bilijun bilijuna atoma i ti su učinci na neki način uobičajeni.

POKRETANJE POJEDINAČNIH ATOMA

Richard Feynman je sanjao o danu kad će fizičari moći proizvesti bilo koju molekulu, atom po atom. Taj san se činio nemogućim 1959., ali sad je dio toga postala stvarnost.

Imao sam priliku svjedočiti o tome izbliza kad sam posjetio IBM-ov Istraživački centar Almaden u San Joseu u Kaliforniji. Došao sam promatrati izvanredan uređaj, skenirajući tunelirajući mikroskop, koji omogućava znanstvenicima da promatraju i manipuliraju pojedinim atomima. Taj uređaj su izumili Gerd Binning i Heinrich Rohrer iz IBM-a, i za njega su 1986. dobili Nobelovu nagradu. (Sjećam se dok sam bio dijete da nam je učitelj govorio da nikada nećemo moći vidjeti atome. Jednostavno su premali, rekao je. Tada sam odlučio postati atomski znanstvenik. Shvatio sam da ću provesti ostatak svog života proučavajući nešto što nikada neću moći izravno promatrati. Ali ne samo da možemo danas vidjeti atome, već se s atomskom pincetom možemo i igrati s njima.)

Skenirajući tunelirajući mikroskop u stvari nije mikroskop već sliči starom fonografu. Tanka igla (s vrhom od samo jednog atoma) prelazi polagano iznad materije koju se proučava. Slaba električna struja putuje od igle preko materije do baze uređaja. Kad igla prijeđe preko predmeta, električna struja se neznatno promijeni svaki put kad prijeđe preko atoma. Nakon višestrukih prelaženja, uređaj iscrtava zapanjujući prikaz samoga atoma. Upotrebljavajući istu iglu mikroskop je sposoban ne samo zabilježiti atom, već ga i pomicati. Na taj se način mogu ispisati slova, kao što su inicijali IBM-a, ili čak dizajnirati primitivni uređaji izgrađeni od atoma.

(Sljedeći novi izum je mikroskop atomskih sila koji nam može dati zapanjujuće 3-D prikaze nizova atoma. Mikroskop atomskih sila također koristi iglu s vrlo malim vrhom, ali s laserom koji svijetli na njega. Dok igla prelazi preko materije koja se proučava, ona se počne tresti, a pokret se bilježi pomoću odraza laserske zrake.)

Otkrio sam da je sasvim jednostavno pomicati atome. Sjeo sam ispred zaslona računala promatrajući niz bijelih kugli koje su podsjećale na ping-pong loptice veličine jednog inča. U stvari, svaka loptica je bila pojedinačni atom. Stavio sam kursor preko atoma, a zatim sam ga pomaknuo na drugi položaj. Pritisnuo sam tipku koja je aktivirala iglu kako bih pomaknuo atom. Mikroskop je preispitao supstancu. Ekran se promijenio pokazujući da se loptica pomaknula točno tamo gdje sam odredio.

Cijeli je proces pomicanja atoma na željenu lokaciju zahtijevao samo minutu vremena. Naime, u oko 30 minuta saznao sam da mogu ispisati neka slova od pojedinih atoma na ekranu. U sat vremena mogao sam načiniti dosta složen uzorak od 10 ili više atoma.

Morao sam se oporaviti od uzbuđenja zbog spoznaje da mogu pomicati pojedinačne atome, nešto što je prije bilo nezamislivo.

MEMS I NANOČESTICE

Iako je nanotehnologija još uvijek u povojima, već je potaknula rastuću komercijalnu industriju na području kemijskih premaza. Nanošenjem tankih slojeva kemikalija samo se nekoliko molekula zadržava na površini komercijalnog proizvoda štiteći ga od korozije ili mijenjajući njegova optička svojstva. Ostale primjene nanotehnologije u komercijalne svrhe danas vidljive su u odjeći otpornoj na mrlje, poboljšanim ekranima za računala, snažnijim alatima za rezanje metala i premazima otpornim na ogrebotine. U nadolazećim godinama prodavat će se sve više komercijalnih proizvoda s mikropremazima koji poboljšavaju njihovu učinkovitost.

Nanotehnologija je najvećim dijelom još uvijek vrlo mlada znanost. Ali jedan aspekt nanotehnologije koji polako utječe na živote svih nas već je procvjetao u 40 milijardi dolara vrijednu svjetsku ekonomsku industriju – mikroelektromehanički sistemi (MEMS) – uključujući sve, od punjenja za tiskače, senzora za zračne jastuke i ekrana, do žiroskopa za automobile i zrakoplove. MEMS su sićušni uređaji, toliko mali da stanu na vrh igle. Oni koriste istu postojeću tehnologiju korištenu u poslovnom svijetu računala. Umjesto postojećih tranzistora, inženjeri stvaraju sićušne mehaničke komponente, proizvodeći dijelove za uređaje koji su toliko mali da je potreban mikroskop kako bi ih se vidjelo.

Znanstvenici su proizveli atomsku inačicu abaka, uvaženog azijskog uređaja za računanje, koji se sastoji od nekoliko okomitih žica na kojima su drvene kuglice. Godine 2000. znanstvenici s IBM-ovog ciriškog Istraživačkog laboratorija izradili su atomsku inačicu abaka manipulirajući pojedinim atomima pomoću skenirajućeg mikroskopa. Umjesto drvenih kuglica koje se kreću gore dolje po okomitim žicama, atomski abak je koristio kuglice čiji su ugljikovi atomi poredani tako da tvore molekule u obliku nogometne lopte, 5 000 puta manje od širine ljudske vlasi.

Na Cornellu su znanstvenici čak proizveli atomsku gitaru sa 6 žica, od kojih je svaka široka samo 100 atoma. Poredane od jednog kraja do drugog, 20 takvih gitara stalo bi u ljudsku vlas. Riječ je o pravoj gitari s pravim žicama, po kojima se može prebirati (iako je frekvencija te atomske gitare previsoka da bi je ljudsko uho moglo čuti).

Najraširenija uporaba takve tehnologije u praksi vidljiva je u zračnim jastucima koji sadržavaju sićušne MEM akcelerometre za prepoznavanje iznenadnog kočenja našeg automobila. MEM akcelerometar sadržava mikroskopsku kuglicu pričvršćenu za oprugu ili polugu. Kad naglo pritisnemo kočnicu, iznenadno usporavanje zatrese lopticu, čiji pokret uzrokuje mali električni naboj. Taj naboj potiče kemijsku eksploziju koja oslobađa velike količine nitrogenskog plina u samo 1/25 sekundi. Ova je tehnologija već spasila tisuće života.

BLISKA BUDUĆNOST (OD SADAŠNJOSTI DO 2030.)

NANOSTROJEVI U NAŠIM TIJELIMA

U bliskoj budućnosti trebali bismo očekivati mnoštvo nanouređaja koji bi mogli revolucionirati medicinu, kao što su nanostrojevi koji putuju krvotokom. U filmu *Fantastično putovanje* posada znanstvenika i njihov brod smanjeni su na veličinu krvne stanice. Zatim se ukrcavaju na putovanje kroz krvotok i mozak pacijenta, susrećući se s raznim opasnostima unutar tijela. Jedan je od ciljeva nanotehnologije stvoriti lovce koji će napasti stanice raka i uništiti ih, ostavljajući normalne stanice netaknute. Pisci znanstvene fantastike dugo su sanjali o molekularnom "nađi i uništi" brodu koji plovi kroz krvotok stalno u potrazi za stanicama raka. Nekoć su kritičari smatrali takvo nešto nemogućim, pustim snom pisaca znanstvene fantastike.

Danas se dio tog sna ostvaruje. Jerome Schentag je na Sveučilištu Buffalo 1992. izumio pametnu pilulu, koju smo spomenuli ranije, sićušni uređaj koji se proguta i zatim prati elektronički. Može ga se uputiti da dostavi lijek na odgovarajuću lokaciju. Napravljene su pametne pilule koje sadržavaju kamere za slikanje naše unutrašnjosti dok se spuštaju niz crijeva i želudac. Koriste se magneti da se njima upravlja. Uređaj traga za tumorima i polipima. U budućnosti će se moći izvoditi manje operacije pomoću pametnih tableta, uklanjati neke abnormalnosti i raditi biopsija iznutra, bez rezanja kože.

Mnogo je manji uređaj nanočestica, molekula koja dostavlja lijekove protiv raka do određenoga cilja. Te se nanočestice mogu zamisliti kao molekularne pametne bombe zamišljene da pogode određenu metu kemijskim punjenjem i smanje kolateralnu štetu. Glupe bombe pogađaju sve, uključujući zdrave stanice, pametne bombe su selektivne i spuštaju se samo na stanice raka.

Tko god je prošao kroz kemoterapije može razumjeti ogromni potencijal koje te nanočestice imaju za smanjivanje ljudske patnje. Kemoterapija kupa čitavo tijelo u smrtonosnim toksinima. Ubijaju stanice raka neznatno bolje negoli zdrave stanice. Kolateralna šteta od kemoterapije je posvuda. Nuspojave – mučnina, gubitak kose, gubitak snage, itd. – toliko su ozbiljne da neki pacijenti žele radije umrijeti od raka nego se podvrgnuti tome mučenju.

Nanočestice mogu sve to promijeniti. Lijekovi poput onih korištenih u kemoterapijama bit će smješteni u molekule u obliku kapsule. Nanočestica se pušta u krvožilni sustav dok ne pronađe određenu destinaciju na kojoj pušta lijek.

Ključna je veličina tih nanočestica – između 10 i 100 nanometara, prevelike su da uđu u krvne stanice. One se bez opasnosti odbijaju od običnih krvnih stanica. Stanice raka su drugačije, jer njihove membrane imaju velike nepravilne pore. Nanočestice mogu neometano ući u stanice raka i dostaviti lijek bez da oštete zdravo tkivo. Liječnici ne trebaju složene sustave vođenja da upravljaju nanočesticama do mete. Prirodno će se sakupljati u određenim tipovima tumora raka.

Ljepota toga je da nema potrebe za složenim i opasnim metodama, koje bi mogle imati ozbiljne nuspojave. Nanočestice su točno potrebne veličine da uđu u stanice raka, a prevelike da uđu u zdrave stanice.

Još jedan su primjer nanočestice koje su proizveli znanstvenici iz tvrtke BIND Biosciences Inc. iz Cambridgea, Massachusetts. Njihove su nanočestice napravljene od mnogostruke mliječne kiseline i kopolilaktične kiseline/glikolične kiseline koje mogu držati lijekove unutar molekularne mreže. Tako nastaje punjenje nanočestice. Sustav navođenja su peptidi koji omataju česticu i vežu je za ciljanu stanicu.

Te su nanočestice veoma privlačne, jer se oblikuju same od sebe bez složenih tvornica i kemijskih izvora energije. Različite se kemikalije polako miješaju u određenom slijedu i u strogo kontroliranim uvjetima, a nanočestice se same slažu.

“Budući da molekulsko samoudruživanje ne zahtijeva mnogostruku složenu kemijsku preradu, nanočestice se vrlo lako proizvode… Možemo ih proizvesti na kilograme, što još nitko nije napravio”, kaže BIND-ov Omid Farokhzad, fizičar s Harvardske medicinske škole. Već su pokazale svoju djelotvornost protiv raka prostate, dojke i pluća kod štakora. Korištenjem bojila možemo vidjeti kako se nanočestice skupljaju u organu kojemu su namijenjene i kako ispuštaju svoje punjenje na zamišljeni način. Kliničko testiranje na ljudskim pacijentima počinje za nekoliko godina.

UNIŠTAVANJE STANICA RAKA

Nanočestice traže stanice raka i dostavljaju kemikalije, ali su u stanju i zaista ih uništiti na licu mjesta. Načelo koje leži iza toga prilično je jednostavno. Nanočestice sakupljaju svjetlost na nekoj frekvenciji. Kad ih osvijetli laserska svjetlost, zagriju se ili vibriraju i uništavaju bilo koju stanicu raka u blizini bušenjem stanične membrane. Važno je, dakle, dovesti ih blizu stanica raka.

Nekolicina grupa već je razvila prototipe. Znanstvenici s Nacionalnog laboratorija Argonne i sa Sveučilišta Chicago proizveli su nanočestice od titanijeva dioksida (titanijev dioksid je uobičajena kemikalija koju nalazimo u kremi protiv sunca). Otkrili su da mogu vezati nanočestice na antitijelo koje prirodno traga za određenim stanicama raka nazvanim multiformna glioblastoma (GBM). Nanočestice se zakače na antitijela koja ih odnesu do stanica raka. Tada bijelim svjetlom osvjetljavaju pet minuta, zagrijavaju i konačno ubijaju stanice raka. Istraživanja pokazuju da se tako može uništiti 80 posto stanica raka.

Smislili su i drugi način ubijanja stanica raka. Proizveli su sićušni magnetni disk koji može silovito vibrirati. Kada se disk dovede do stanice raka, maleno vanjsko magnetno polje se približava i uzrokuje se trešnja koja razbija membrane stanica raka. Na testiranju je 90 posto stanica raka bilo ubijeno nakon samo 10 minutne trešnje.

Takav rezultat nije dobiven pukim slučajem. Znanstvenici sa Sveučilišta u Kaliforniji u Santa Cruzu osmislili su sličan sustav korištenjem zlatnih nanočestica. Promjera su samo 20 do 70 nanometara i debele su nekoliko atoma, a uređene u obliku sfere. Znanstvenici su koristili neke peptide za koje se zna da ih privlače stanice raka. Peptid je obrađen da se spoji sa zlatnom nanočesticom koju nosi do stanice raka kože u miševima. Tretiranjem infracrvenim laserom zlatne čestice uništavaju stanice raka zagrijavanjem. “Kao da stavite stanice raka u kipuću vodu i iskuhate ih do smrti. Što više topline metalne nanosfere proizvode, to bolje”, kaže Jin Zhang, jedan od istraživača.

U budućnosti će nanotehnologija detektirati kolonije raka godinama ili desetljećima prije nego što se oblikuje tumor, a nanočestice će kružiti u našoj krvi i uništavati stanice raka. Temelji ovoj znanosti polažu se danas.

NANOVOZILA U NAŠOJ KRVI

Korak dalje od nanočestica je nanovozilo – uređaj kojim se može upravljati unutar našega tijela. Budući da nanočestice mogu slobodno kružiti u krvožilnom sustavu, nanovozila su poput daljinski upravljanih bespilotnih letjelica kojima se može upravljati.

James Tour i njegove kolege sa Sveučilišta Rice proizveli su takvo nanovozilo. Umjesto kotača, ima magnetne kuglice koje se spajaju u bilo koji oblik, tzv. *buckyballs*. Cilj istraživanja je konstrukcija molekularnog vozila koje će upravljati malenim robotom u krvožilnom sustavu i likvidirati stanice raka koje susretne na putu ili dostavljanje spasonosnih lijekova na precizne destinacije u tijelu.

Molekularno vozilo nema motora. Znanstvenici su stvorili mnogo molekularnih vozila, ali je stvaranje molekularnog izvora energije jedna od glavnih prepreka. Majka priroda je riješila problem korištenjem molekule adenozina trifosfata (ATP) kao izvora energije. Energija ATP-a omogućava život i pruža energiju u svakom trenutku naših mišićnih pokreta. Energija ATP-a se pohranjuje unutar atomskih veza između atoma. Stvaranje sintetskoga ATP-a poprilično je težak

zadatak.

Thomas Mallouk i Ayusman Sen sa Sveučilišta Pennsylvania State pronašli su potencijalno rješenje za taj problem. Proizveli su nanovozilo koje se kreće brzinom od nekoliko desetaka mikrona u sekundi, a to je brzina većine bakterija. (Prvotno su izradili od zlata i platine nanoštapić veličine bakterije. Nanoštapić su stavili u mješavinu vode i vodikovog peroksida. To je izazvalo kemijsku reakciju na oba kraja nanoštapića, a koja je uzrokovala da se protoni kreću od jednog kraja štapića do drugoga. Budući da se protoni odbijaju od električnih naboja molekula vode, tako se nanoštapić kreće prema naprijed sve dok ima vodikovog peroksida u vodi.)

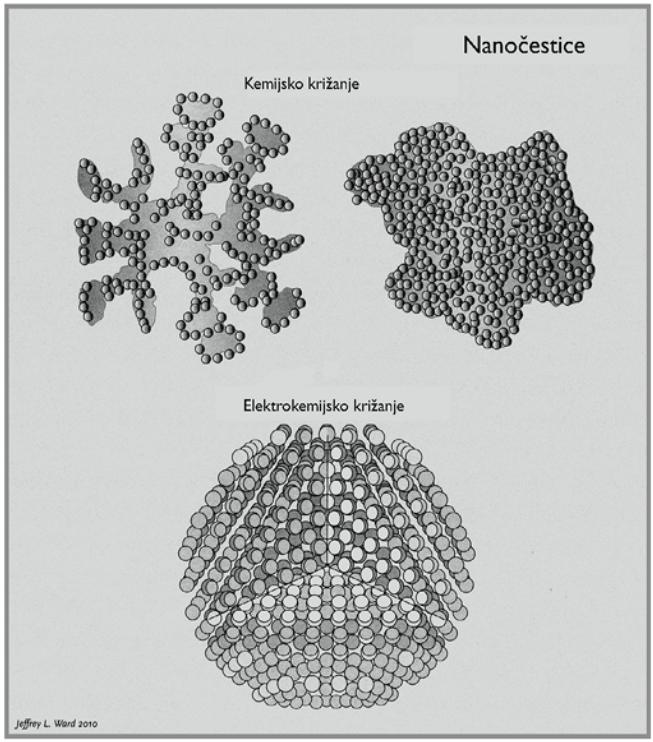
Upravljanje nanoštapićima moguće je pomoću magneta. Znanstvenici su ugradili diskove nikla unutar nanoštapića koji služe poput igle u kompasu. Pomicanjem običnoga magneta možete upravljati tim nanoštapićima.

Drugi je način za upravljanje molekularnim uređajima korištenje svjetiljkama. Svjetlo može razdvojiti molekule na pozitivne i negativne ione. Oni se dijele različitim brzinama djelovanjem medija, a to uspostavlja električno polje. Električna polja privlače molekularne uređaje. Usmjeravanjem svjetla možemo upraviti molekularne uređaje u željenom smjeru.

Prisustvovao sam demonstraciji kad sam posjetio laboratorij Sylvaina Martela na École Polytechnique u Montréalu u Kanadi. Njegova je zamisao korištenje repova običnih bakterija za pokretanje malenih čipova u krvožilnom sustavu. Dosad znanstvenici nisu uspijevali proizvesti atomski motor poput onoga koji se nalazi u repu bakterije. Martel se zapitao: ako nanotehnologija ne može proizvesti takve sićušne repiće, zašto ne bismo koristili repiće živih bakterija?

Prvo je izradio računalni čip manji od točke na kraju ove rečenice. Zatim je uzgojio četu bakterija. Uspio je umetnuti oko 80 bakterija iza čipa. One su poput propelera koji pomiče čip prema naprijed. Budući da te bakterije imaju magnetna svojstva, Martel koristi vanjske magnete za upravljanje.

Imao sam prigodu upravljati tim čipovima na bakterijski pogon. Gledao sam u mikroskop i vidio sićušna računala koja su pokretale bakterije. Kad sam stisnuo tipku, upalio se magnet i čip je skrenuo udesno. Kad sam pustio tipku, čip je stao i kretao se u neodređenom smjeru. Tako sam upravljao čipom. Dok sam to radio, shvatio sam da će liječnici jednoga dana stiskati slične tipke i upravljati nanorobotima u žilama pacijenta.



Molekularni roboti će patrolirati našim krvožilnim sustavom, prepoznavati i uništavati stanice raka i bolesne gene. Mogli bi unaprijediti medicinu.

Možemo zamisliti budućnost u kojoj će operacije biti zamijenjene molekularnim uređajima koji se pomiču kroz krvožilni sustav pomoću magneta, zaustavljaju se na bolesnom organu i oslobađaju lijek ili izvode operaciju. Time bi rezanje kože postalo izlišno. Magneti bi mogli navoditi te nanouređaje do srca, s ciljem da uklone začepljenja u arterijama.

DNA-ČIPOVI

Kao što smo spomenuli u trećem poglavlju, u budućnosti ćemo imati sićušne senzore u odjeći, po tijelu i u kupaonici. Neprestano će nadzirati naše zdravlje i otkrivati bolesti poput raka godinama prije nego što postanu opasne. Ključ za to su DNA-čipovi koji predstavljaju "laboratorij u čipu". Poput trikordera u *Zvjezdanim stazama*, ti će senzori pružati medicinsku analizu za nekoliko minuta.

Današnja pretraga za rak je dugotrajan, skup i naporan proces koji traje nekoliko tjedana. Time se veoma ograničava broj pretraga koje se mogu obaviti. Računalna tehnologija će to promijeniti. Znanstvenici osmišljavaju uređaje koji brzo i jeftino otkrivaju rak gledanjem određenih biomarkera koje proizvode stanice raka.

Korištenjem iste tehnologije urezivanja koja se koristi za računalne čipove možemo urezati čip na mikroskopske lokacije koje mogu otkriti određene sljedove DNA ili stanice raka.

Korištenjem tehnologije urezivanja tranzistora, fragmenti DNA se umeću u čip. Kad se

tekućine preliju preko čipa, fragmenti DNA se povezuju s određenim genskim sljedovima. Tada se koristi laserska zraka kojom se vrlo brzo pročita čitava lokacija i prepoznaju se geni. Ne treba ih se čitati jednog po jednog kao ranije, nego se mogu skenirati tisuće odjednom.

Tvrtka Affymetrix je 1997. pustila na tržište prvi komercijalni DNA-čip koji brzo analizira 50 000 sljedova DNA. Već se 2000. moglo pronaći 400 000 sondi DNA za nekoliko tisuća dolara. Cijena je pala na 200 dolara po čipu do 2002. Cijene i dalje padaju zahvaljujući Mooreovom zakonu, a nastavit će dok ne dođu na tek nekoliko dolara.

Shana Kelley, profesor na Medical School Sveučilišta u Torontu, kaže: "Danas moramo imati sobu punu računala da klinički procijenimo relevantan primjerak biomarkera raka, a rezultati nisu brzo dostupni. Naša je skupina uspjela smjestiti biomolekule na elektronički čip veličine nokta." Predviđa i dan kada će cjelokupan pribor za analizu toga čipa biti veličine prijenosnoga telefona. Laboratorij u čipu znači da ćemo smanjiti kemijski laboratorij na veličinu čipa koji možemo koristiti u svojim kupaonicama.

Liječnici iz Opće bolnice u Massachusettsu proizveli su personalizirani biočip 100 puta snažniji od bilo kojeg čipa na tržištu. Cirkulirajuće stanice raka (CTC) sačinjavaju jednu od milijun stanica u našoj krvi. One nas ubiju, ako se uspiju razmnožiti. Novi biočip je dovoljno osjetljiv da može pronaći jednu od milijun stanica CTC u krvi. Čip je testiran na detektiranje stanica raka pluća, prostate, gušterače, dojke i debeloga crijeva iz malene žlice krvi.

Standardna tehnologija urezivanja urezuje čipove koji sadrže 78 000 mikroskopskih čavlića (svaki visok 100 mikrona). Pod elektronskim mikroskopom nalikuju šumi okruglih čavlića. Svaki čavlić je obavijen antitijelom s prianjajućom molekulom za epitelno tkivo stanice (EpCAM) koju pronalazimo u mnogim vrstama stanica raka, ali ne postoji u normalnim stanicama. EpCAM je ključan za komunikaciju stanica raka pri formiranju tumora. Kad se krv propusti kroz čip, stanice CTC se zalijepe za okrugle čavliće. Na kliničkom testiranju je čip uspješno prepoznavao rak kod 115 od 116 pacijenata.

Širenje laboratorija u čipu će radikalno smanjiti cijenu dijagnostike. Danas košta nekoliko stotina dolara da se podvrgnete biopsiji ili kemijskim analizama koje mogu potrajati nekoliko tjedana. U budućnosti će koštati nekoliko dolara i trajati nekoliko minuta. Time će se znatno unaprijediti brzina i pristupačnost dijagnoze raka. Svaki put kad operemo zube, podvrgnut ćemo se temeljitom pregledu za raznim bolestima, uključujući i rak.

Leroy Hood i njegove kolege sa Sveučilišta Washington stvorili su čip, širok 4 cm, koji testira na određene proteine iz jedne kapi krvi. Proteini su građevni blokovi života. Mišići, koža, kosa, hormoni i enzimi sagrađeni su od proteina. Detektiranje proteina u bolesnim stanicama raka predstavlja rani sustav upozorenja za tijelo. Čipovi koštaju samo 10 centi, a detektiraju određene proteine za desetak minuta, tako da su nekoliko milijuna puta učinkovitiji od prijašnjeg sustava. Hood zamišlja dan kad će čip analizirati stotine tisuća proteina i upozoravati nas na bolesti godinama prije nego što se pogoršaju i postanu ozbiljne.

UGLJIKOVE NANOCJEVČICE

Pogled u buduću snagu nanotehnologije predstavljaju nanocjevčice. Snažnije su od čelika i mogu voditi električnu struju, tako da su moguća računala temeljena na ugljiku. Vrlo su snažne, ali problem je što moraju biti u čistome obliku, a najduže čisto ugljikovo vlakno je svega nekoliko centimetara dugo. Jednoga će dana, ipak, čitava računala biti od ugljikovih nanocjevčica i drugih

molekularnih struktura.

Ugljikove nanocjevčice napravljene su od pojedinačnih atoma ugljika povezanih u oblik cijevi. Zamislite saće u kojemu svaka spojka predstavlja jedan atom ugljika. Sada smotajte saće da formira cijev i dobit ćete strukturu ugljikove nanocjevčice. Nastaju svaki put kada nastaje obična čađa, ali znanstvenici nisu shvaćali da se atomi ugljika mogu spajati na tako neobičan način.

Gotovo čudesne osobine ugljikovih nanocjevčica duguju svoju snagu svojoj atomskoj strukturi. Kad analizirate kakvu čvrstu tvar, većinom analizirate veliku nakupinu mnogih struktura. Lako je stvoriti malu pukotinu na tvari zbog koje se tvar rascijepi na pola. Snaga materijala ovisi o nesavršenostima njihovih molekularnih struktura. Grafit je napravljen od čistoga ugljika, ali je iznimno mekan, jer je napravljen od slojeva koji klize jedan pored drugoga. Svaki sloj sadrži atome ugljika koji su svi povezani s tri ostala atoma ugljika.

Dijamanti su također napravljeni od čistoga ugljika, ali su najsnažniji prirodni mineral. Atomi ugljika u dijamantima raspoređeni su u usku međusobno učvršćujuću strukturu koja im podaruje njihovu izvanrednu snagu. Ugljikove nanocjevčice duguju svoje zadivljujuće osobine regularnoj atomskoj strukturi.

Već se pojavljuju i na tržištu. Zbog velike vodljivosti mogu se koristiti za proizvodnju kabela za veliku količinu električne energije. Moći će se proizvesti materijali snažniji od kevlara.

Najvažnija primjena ugljika bit će u računalnoj industriji. Ugljik je jedan od nekolicine kandidata koji bi mogli naslijediti silicij kao temelj računalne tehnologije. Budućnost svjetske tehnologije ovisi o sljedećem pitanju: što će zamijeniti silicij?

POSTSILICIJSKO RAZDOBLJE

Kao što smo spomenuli ranije, Mooreov zakon, jedan od temelja informatičke revolucije, ne može trajati zauvijek. Budućnost svjetske ekonomije i sudbina naroda može na kraju ovisiti o tome tko će prvi razviti prikladnu zamjenu za silicij.

Pitanje "Kad će Mooreov zakon biti oboren?" sije strah svjetskom ekonomijom. Kad su Gordona Moorea 2007. pitali misli li da će njegov slavni postulat trajati zauvijek, odgovorio je: "Naravno da ne", i predvidio da će okončati u idućih deset do petnaest godina.

Ova gruba pretpostavka u skladu je s onom Paola Garginija, zaposlenika Intela zaduženog za cjelokupno vanjsko istraživanje u Intelu. S obzirom na to da Intel Corporation postavlja standard u cjelokupnoj industriji poluvodiča, njegove riječi pomno su analizirane. Na godišnjoj Semicon zapadnoj konferenciji 2004., rekao je: "Vidimo da se najmanje sljedećih deset do petnaest godina možemo oslanjati na Mooreov zakon."

Trenutna revolucija računala baziranih na siliciju vođena je samo jednom činjenicom: moći UV-zraka da urezuju sve manje i manje tranzistore na tanku pločicu silicija. Danas, Pentium čip može imati nekoliko stotina milijuna tranzistora na silicijskoj pločici veličine nokta. Zbog toga što valna duljina UV-zraka može biti samo 10 nanometara, moguće je koristiti tehnike gravure za rezbarenje komponenti koje su veličine samo trideset atoma u promjeru. No, taj se proces ne može nastaviti zauvijek. Prije ili kasnije srušit će se, i to iz nekoliko razloga.

Prvo, toplina koju moćni čipovi proizvode s vremenom će ih otopiti. Jedno od naivnih rješenja uključuje slaganje pločica jedne na drugu, što čini kubični čip. To povećava procesorsku

moć čipa nauštrb stvaranja više topline. Toplina tih kubičnih čipova je toliko intenzivna, da biste mogli ispeći jaje na njima. Problem je u stvari jednostavan; kubični čip nema dovoljno površinskog prostora da bi se mogao ohladiti. Općenito govoreći, ako propuštate hladnu vodu ili zrak preko vrućeg čipa, učinak hlađenja je veći što je veća njegova dodirna površina sa samim čipom. No ako imate kubični čip, površina nije dovoljna. Ako bismo, primjerice, udvostručili veličinu kubičnog čipa, toplina koju proizvodi povećala bi se osam puta (zato što kocka sadrži osam puta više električnih komponenti), ali površina bi se povećala samo četiri puta. To znači da se toplina koju električni čip proizvodi povećava brže nego mogućnost da se ona smanji. Što je kubični čip veći, to ga je teže ohladiti, stoga kubični čip može ponuditi samo privremeno rješenje problemu.

Neki su predlagali da se jednostavno koriste rendgenske zrake umjesto UV-zraka za graviranje sklopova. U teoriji, to bi moglo funkcionirati zato što rendgenske zrake imaju 100 puta manju valnu duljinu od UV-zraka. No postoji kompromis. Kako se od UV-zraka primiče rendgenskim zrakama, također raste energija zrake, i to čak sto puta. To znači da bi graviranje rendgenskim zrakama uništilo pločicu na koju pokušavate gravirati. Litografija rendgenskim zrakama mogla bi se usporediti s umjetnikom koji pokušava napraviti skulpturu aparatom za zavarivanje. Litografija rendgenskim zrakama mora se vrlo pažljivo kontrolirati, tako da je samo kratkoročno rješenje.

Drugo, postoji fundamentalni problem u domeni kvantne teorije: načelo neizvjesnosti, koje govori kako se ne može sa sigurnošću odrediti lokacija i brzina bilo kojeg atoma ili čestice istovremeno. Današnji čip Pentiuma može imati sloj debeo otprilike 30 atoma. Do 2020., taj isti sloj mogao bi biti debeo samo pet atoma, uzevši u obzir teoriju neizvjesnosti; položaj elektrona je neizvjestan, i počinje istjecati izvan sloja, uzrokujući kratki spoj. Dakle, postoji kvantna granica koliko malen može biti silicijski tranzistor.

Kako sam spomenuo ranije, jednom sam izlagao na velikoj konferenciji od 3 000 Microsoftovih vrhunskih inženjera u njihovom sjedištu u Seattleu, gdje sam naglasio problem rješavanja Mooreovog zakona. Ti vrhunski softverski inženjeri uvjeravali su me kako sada shvaćaju taj problem vrlo ozbiljno, i da je paralelno procesiranje jedan od njihovih najboljih odgovora na pitanje kako povećati procesorsku snagu. Najlakši način za rješavanje tog problema jest paralelno umrežavanje serije čipova, tako da se računalni problem razbija na nekoliko komponenti, i sastavlja na kraju.

Paralelno procesiranje je ključ funkcioniranja ljudskog mozga. Ako učinite magnetsku rezonanciju ljudskog mozga dok razmišlja, vidjet ćete da različite regije mozga svijetle istovremeno, što znači da mozak raščlanjuje zadatak na više manjih dijelova, i obrađuje svaki dio posebno. To objašnjava zašto neuroni (koji prenose električne impulse bolno sporim brzinama od 320 km/h) mogu lako nadigrati super-računalo u kojemu impulsi putuju gotovo brzinom svjetlosti. Ono što naš mozak izgubi u nedostatku brzine, nadoknađuje više nego dobro radeći milijarde malih proračuna istovremeno, spajajući ih sve na kraju.

Teškoća s paralelnim procesiranjem jest što se svaki problem mora raščlaniti na nekoliko dijelova. Svaki dio tada se obrađuje u drugom čipu, i spaja na kraju procesa. Koordinacija tog raščlanjivanja može biti pretjerano složena, i specifična je za svaki problem, zbog toga je teško naći jednu, generalnu proceduru. Ljudski mozak čini to sve bez napora, no Majka Priroda imala je milijune godina da usavrši taj proces. Softverski inženjeri imali su samo desetljeće.

ATOMSKI TRANZISTORI

Jedna moguća zamjena silicijskih čipova su tranzistori načinjeni od individualnih atoma. Ako silicijski tranzistori propadaju zbog toga što se vodovi i slojevi smanjuju do atomskih razina, zašto ne početi odmah računati na atomima?

Jedan od načina na koji bi se to moglo ostvariti je s molekularnim tranzistorima. Tranzistor je prekidač koji omogućuje da kontrolirate protok struje kroz vod. Moguće je zamijeniti silicijski tranzistor samo s jednom molekulom spoja kao što su rotaksan ili benzentiol. Molekula benzentiola izgleda kao duga cijev s "kvakom" ili ventilom, načinjenim od atoma u sredini. Struja teče normalno kroz cijev, što je čini vodljivim, no moguće je zavrnuti "ventil", što zatvara protok struje. Na taj način, cijela je molekula zapravo jedan prekidač koji može kontrolirati protok struje. U jednom položaju ventil omogućuje struji da teče, što se predstavlja brojem "1". Ako se ventil zatvori, protok struje se zaustavlja, što predstavlja broj "0". Stoga, električni impulsi se mogu slati i molekulama.

Molekularni tranzistori već postoje. Nekoliko korporacija je najavilo da su uspjeli napraviti tranzistore sačinjene od individualnih molekula. Prije nego budu komercijalno upotrebljive, mora postojati mogućnost da se povežu s vodovima, i masovno proizvedu.

Jedan obećavajući kandidat za molekularni tranzistor dolazi od tvari nazvane grafen, koji su prvi put izolirali iz grafita 2004. Andre Geim i Kostya Novoselov na Sveučilištu u Manchesteru, i dobili Nobelovu nagradu za svoj rad. To je zapravo kao jedan sloj grafita. Za razliku od ugljikovih nanocjevčica – slojeva ugljikovih atoma valjanih u dugačke, uske cijevi, grafen je jedan sloj ugljika, ne deblji od jednog atoma. Kao i ugljikove nanocjevčice, predstavljaju novo agregatno stanje stvari, znanstvenici istražuju njihova osobita svojstva, uključujući i provođenje električne energije. "Sa stajališta fizike, grafen je rudnik zlata. Možete ga proučavati godinama", rekao je Novoselov. (Grafen je također najčvršći materijal ikad testiran u znanosti. Kad biste stavili slona na olovku, a olovku balansirali na sloju grafena, grafen se ne bi poderao.)

Novoselovljevi ljudi su upotrijebili neke standardne tehnike koje se koriste u računalnoj industriji kako bi ugravirali jedan od najmanjih tranzistora ikad načinjenih. Uski snopovi elektrona mogu izrezbariti kanale u grafenu, čineći najmanji tranzistor na svijetu: jedan atom debeo i deset atoma u dijagonali. (Trenutno, najmanji molekularni tranzistori su otprilike veličine 30 nanometara. Novoselov najmanji tranzistor je trideset puta manji od toga.)

Ti grafenski tranzistori su toliko maleni da su možda krajnja granica molekularnih tranzistora. Da su manji, teorija neizvjesnosti bi počela djelovati i elektroni bi istekli van tranzistora, narušavajući njegova svojstva. "To je otprilike najmanje što ide", kaže Novoselov.

Iako postoji nekoliko obećavajućih kandidata za molekularne tranzistore, prvi problem je više zemaljske naravi – kako ih povezati s vodovima u komercijalno isplativ proizvod. Jedan molekularni tranzistor jednostavno sam po sebi nije dovoljan. Molekularnim tranzistorima vrlo je teško upravljati jer mogu biti tisuće puta tanji od vlasi kose. Noćna mora je sama pomisao na masovnu proizvodnju, trenutno takva tehnologija još nije u potpunosti razvijena.

Primjerice, grafen je toliko nov materijal, da znanstvenici još uvijek ne znaju kako proizvesti njegove veće količine. Mogu proizvesti samo otprilike 0,1 milimetar čistog grafena, premalo za komercijalnu uporabu. Nada je da će se pronaći proces koji će omogućiti samo-slaganje molekularnog tranzistora. U prirodi ponekad nalazimo nizove molekula koje se sklapaju u precizne obrasce, kao nekom čarolijom. Dosad još nitko nije uspio na pouzdan način kopirati tu čaroliju.

KVANTNA RAČUNALA

Najambiciozniji prijedlog je korištenje kvantnih računala, koja zapravo računaju na pojedinačnim atomima. Neki tvrde da su kvantna računala zapravo konačna računala, jer je atom najmanja jedinica na kojoj se može izračunavati.

Atom je kao zvrk. Možete pohranjivati digitalne podatke na zvrku ako im dodijelite brojeve; "0" ako se zvrk vrti prema gore, ili "1" ako se vrti prema dolje. Ako preokrenete zvrk, pretvorili ste "0" u "1" i izveli proračun.

No u čudnovatom kvantnom svijetu, atom se na neki način vrti prema gore i prema dolje istovremeno. (U kvantnom svijetu, učestala je pojava biti na nekoliko mjesta u isto vrijeme.) Stoga, atom sadrži mnogo više informacija od "1" ili "0". Može sadržavati cijeli niz jedinica i nula, zato kvantna računala koriste "kubite" umjesto bita. Primjerice, atom se može vrtjeti 25 posto gore, i 75 posto dolje. Na taj način, vrteći atom može uskladištiti mnogo više informacija od jednog bita.

Kvantna računala su toliko moćna da je CIA istraživala njihov potencijal za dešifriranje kodova. Kad CIA pokuša provaliti kôd neke zemlje, traži ključ za dekodiranje. Izumljeni su domišljati načini za pisanje ključeva za kodiranje poruka. Primjerice, ključ može biti baziran na rastavljanju velikog broja na faktore. Jednostavno je rastaviti broj 21 kao produkt faktora 3 i 7. No zamislite da imate cijeli broj od 100 znamenki, i da od računala tražite da ga prepiše kao produkt druga dva cijela broja. Digitalnom računalu može trebati stoljeće da ga rastavi na faktore. Kvantno računalo je, s druge strane, toliko moćno da u teoriji može bez napora probiti takav kôd. Kvantno računalo vrlo brzo i lako nadigra standardno računalo na tako velikim zadacima.

Kvantna računala nisu znanstvena fantastika, ona postoje i danas. Štoviše, imao sam priliku vidjeti kvantno računalo svojim očima kad sam posjetio laboratorij Setha Loyda na MIT-ju, jednom od pionira u tom polju. Njegov laboratorij pun je računala, vakuumskih pumpi i senzora, ali srž njegova pokusa jest stroj koji nalikuje standardnom skeneru za magnetsku rezonancu, ali mnogo manji. Baš kao MR, njegov stroj ima dvije velike zavojnice od žice koje tvore homogeno magnetsko polje u prostoru između. U to homogeno polje, on stavlja materijalni uzorak. Atomi unutar uzorka se poravnavaju, baš kao zvrkovi. Ako je atom usmjeren prema gore, to je jednako "0". Ako je usmjeren prema dolje, to je jednako "1". Tad šalje elektromagnetski impuls u uzorak, koji mijenja orijentaciju atoma. Neki atomi se preokreću, tako da "1" postaje "0". Na taj je način stroj izvršio proračun.

Zašto onda na svojim stolovima nemamo kvantna računala, koja rješavaju tajne svemira? Lloyd je priznao da je glavni problem, koji je usporio razvoj kvantnih računala, smetnje vanjskog svijeta na osjetljiva svojstva tih atoma.

Kada su atomi usklađeni i vibriraju u fazi jedni s drugima, i najmanja smetnja iz vanjskog svijeta može uništiti ovu osjetljivu ravnotežu uzrokujući da atomi više ne vibriraju u skladu. Prolazak kozmičke zrake ili vibriranje kamiona pored laboratorija može uništiti osjetljivu istovremenu rotaciju atoma i uništiti izračun. Problem disbalansa pri utjecaju vanjskih faktora najveća je prepreka pri izradi kvantnih računala. Onaj tko riješi taj problem, ne samo da će dobiti Nobelovu nagradu, već će postati i najbogatijim čovjekom na svijetu.

Možete zamisliti, izrada kvantnih računala od individualnih stabilnih atoma je mučan proces, zato što se ti atomi brzo destabiliziraju i izlaze iz faze. Dosad, najsloženiji proračun koji je kvantno računalo izvršilo je 3 x 5 = 15. Iako to izgleda jednostavno, imajte na umu da je proračun

učinjen na pojedinačnim atomima.

Uz to, postoji još jedna zanimljiva poteškoća koja dolazi od kvantne teorije, ponovno bazirana na načelu neizvjesnosti. Svi proračuni koje izračunavaju kvantna računala su neizvjesni, tako da morate ponavljati pokus više puta. 2 + 2 = 4 samo ponekad. Ako ponavljate izračun 2 + 2 više puta, konačni odgovor u prosjeku će biti 4. Tako da čak i aritmetika postaje nedorečena na kvantnim računalima.

Nitko ne zna kad bi se mogao riješiti problem stabilizacije. Vint Cert, jedan od izvornih izumitelja interneta, predviđa: "Do 2050. sigurno ćemo pronaći način za ostvarenje kvantnih izračuna na sobnoj temperaturi."

Također, trebamo istaknuti još neke računalne dizajne koje su znanstvenici istraživali:

- **Optička računala**: ova računala koriste svjetlosne zrake, umjesto elektrona, za izračunavanje. S obzirom da svjetlosne zrake mogu prolaziti jedna kroz drugu, optička računala imaju prednost da mogu biti kubična, bez žica. Također, laseri se mogu proizvesti koristeći iste litografske tehnike kao obični tranzistori, tako da teoretski možete staviti milijune lasera na jedan čip.

- **Kvantna točkasta računala**: poluvodiči koji se koriste u čipovima mogu se urezati u male točke, tako male da se sastoje od stotinjak atoma. U tom trenutku, ti atomi mogu početi usklađeno vibrirati. Godine 2009. najmanja kvantna točka napravljena je od jednog jedinog elektrona. Te kvantne točke već su dokazale svoju iskoristivost s diodama koje zrače svjetlost (LED) i računalnim ekranima. U budućnosti, ako kvantne točke budu pravilno raspoređene, mogle bi sačiniti kvantno računalo.

- **DNA-računala**: godine 1994. napravljeno je prvo računalo sačinjeno od molekula DNA na Sveučilištu Južne Kalifornije. S obzirom da lanac DNA kodira informacije na aminokiselinama A, T, C i G, umjesto na nulama i jedinicama, DNA možemo promatrati kao standardnu računalnu vrpcu, s tom razlikom što može pohraniti više podataka. Na isti način kako računalo može manipulirati i preinačiti veliki digitalni broj, analogne manipulacije mogu se učiniti miješajući cijevi s tekućinom koja sadrži DNA, koja se može izrezivati i spajati na razne načine. Iako je proces spor, postoje bilijuni molekula DNA koje djeluju istovremeno, tako da DNA-računalo može biti pogodnije za neke izračune od digitalnog računala. No, digitalno računalo je praktično, i može se staviti unutar mobitela, DNA-računalo je nespretno i uključuje miješanje cijevi s tekućinom koja sadrži DNA.

SREDINA STOLJEĆA (2030. do 2070.)

MIJENJANJE OBLIKA

U filmu *Terminator 2: Sudnji dan*, Arnolda Schwarzeneggera napao je napredni robot iz budućnosti; T-1000, koji je napravljen od tekućeg metala. Podsjeća na drhtavu masu žive, može promijeniti oblik i skliznuti kroz bilo koju prepreku. Može se stisnuti i proći kroz najmanju pukotinu, preoblikovati svoje noge i ruke u ubojita oružja, a onda se vratiti u izvorni oblik i nastaviti s divljim i ubojitim pohodom. T-1000 je djelovao nezaustavljivo; savršen ubojiti stroj.

Sve je to, naravno, znanstvena fantastika. Tehnologija danas ne dozvoljava da mijenjamo krute predmete kako nam je volja. No, do sredine stoljeća jedan dio te tehnologije promjene oblika može postati uobičajen. Štoviše, jedna od glavnih kompanija koja predvodi ovu tehnologiju je Intel.

Ironično, do 2050., većina proizvoda nanotehnologije bit će posvuda, no skrivena od pogleda. Gotovo svaki proizvod bit će poboljšan molekularnim proizvodnim tehnologijama, tako da će postati posebno jaki, otporni, provodljivi i fleksibilni. Nanotehnologija će nam također dati senzore koji nas konstantno štite i pomažu nam, postavljeni u okolini, no skriveni od pogleda, ispod površine naše svijesti. Hodajući cestom, sve će se činiti istim, nećemo ni znati kako je nanotehnologija promijenila svijet oko nas.

No ima jedna posljedica nanotehnologije koja će biti očita.

Terminator T-1000 robot-ubojica možda je dramatični primjer predmeta iz područja koje se zove tvar s mogućnošću programiranja, koje nam možda jednog dana omogući da promijenimo oblik, boju ili fizički oblik nekog predmeta pritiskom na tipku. Na jednostavnoj razini, čak je i neonski znak neka vrsta tvari s mogućnošću programiranja; pritiskom na prekidač šaljete struju kroz cijev punjenu plinom. Struja aktivira atome plina koji se potom raspada u svoje normalno stanje, pritom otpuštajući svjetlo. Sofisticiranija inačica toga je LCD zaslon koji nalazimo na računalnim ekranima posvuda. LCD sadrži tekući kristal koji postaje neproziran kad se primijeni mala količina električne struje. Regulirajući tijek električne struje, mijenjaju se boje i oblici na ekranu pritiskom na gumb.

Znanstvenici u Intelu mnogo su ambiciozniji. Predviđaju korištenje tvari kojoj mogućnost programiranja omogućuje da promijeni oblik čvrstog predmeta, baš kao u znanstvenoj fantastici. Ideja je jednostavna, načiniti računalni čip veličine zrnca pijeska. Ova pametna zrna pijeska omogućavaju promjenu naboja statičkog elektriciteta na svojoj površini, tako da se mogu međusobno privlačiti ili odbijati. S jednim nabojem, zrnca se mogu rasporediti u određeni oblik. No reprogramiranjem se njihov električni naboj mijenja, i zrnca se raspoređuju u sasvim drugi oblik. Ta zrnca nazvana su "catomi" (skraćenica od Claytonic Atom), s obzirom da mogu tvoriti svakakve oblike ovisno o njihovom naboju, baš kao i atomi. (Tvar s mogućnošću programiranja ima mnogo zajedničkog s modularnim robotima koje smo upoznali u drugom poglavlju. Dok su modularni roboti građeni od pametnih blokova veličine otprilike 2 inča, koji se mogu rasporediti na razne načine, tvar koju je moguće programirati smanjuje te blokove na veličine ispod jednog milimetra i manje.)

Jedan od utemeljitelja te tehnologije je Jason Campbell, viši istraživač u Intelu. On kaže: „Zamislite mobilni uređaj. Moj mobitel prevelik je da bi udobno stao u džep, a premali za moje prste. Još je gore ako pokušam pogledati film ili napisati e-mail. No, da imam 200 do 300 mililitara catoma, mogao bih dobiti od njega onakav oblik kakav mi u tom trenutku treba." Tako u jednom trenutku držim u ruci mobitel, sljedeći trenutak pretvori se u nešto drugo. Na taj način ne moram sa sobom nositi toliko elektroničkih uređaja.

U svojim laboratorijima, Intel je već napravio niz catoma koji su veličine otprilike jednog inča. Catom sliči na kocku s mnoštvom malenih elektroda jednoliko raspoređenih po njegovoj površini. S jednim setom naboja, te bi se kockice mogle posložiti u jednu veliku kocku. Promjenom naboja na elektrodama svake kocke, catomi se rastavljaju i sastavljaju u neki sasvim drugi oblik, primjerice, u čamac.

Bit je smanjiti catom na veličinu zrnca pijeska ili čak i manje. Ako jednog dana tehnologija

silicijske gravure omogući catome koji su veličine stanice, moći ćemo realistično promijeniti jedan oblik u nešto sasvim drugo jednostavnim pritiskom na gumb. Justin Rattner, viši zaposlenik u Intelu kaže: "U idućih četrdeset godina, to će postati svakodnevna tehnologija." Neposredna bi uporaba bila za automobilske dizajnere, zrakoplovne inženjere arhitekte, i sve kojima je posao dizajn trodimenzionalnih modela svojih projekata i njihovo neprestano modificiranje. Uzmimo, primjerice, model limuzine s četirima vratima, koja se lako, produljenjem modela, pretvori u karavan, ili, izdužimo li model još malo – sportski auto. To je mnogo naprednije od izrade glinenih modela, koji nemaju memoriju niti inteligenciju. Tvar s mogućnošću programiranja je inteligentna, pamti prethodne oblike, prilagođava se novim idejama i željama dizajnera. Jednom kad je model dovršen, može ga se jednostavno poslati e-mailom tisućama drugih dizajnera, koji mogu napraviti identične kopije.

To bi moglo imati dalekosežan učinak na proizvode široke potrošnje. Igračke, primjerice, mogle bi se programirati da promijene oblik umetanjem novih softverskih uputa. Tako biste za Božić trebali samo skinuti novi softver s interneta, njime reprogramirati staru igračku, i dobiti sasvim novu. Djeca ne bi više slavila Božić otvaranjem novih darova, već skidanjem novog softvera s interneta koji im je Djed Božićnjak poslao e-mailom, i catomi će od prošlogodišnje igračke učiniti novu, najpoželjniju igračku na tržištu. To bi značilo da će velika većina proizvoda za široku uporabu biti svedena na softverske programe koji se skidaju putem interneta. Umjesto kupovine novog namještaja i kućanskih aparata, jednostavno ćete skinuti s interneta novi softver i reciklirati svoje stare proizvode. Renoviranje domova neće biti takav mukotrpan posao s tvarima s mogućnošću programiranja. Promjena kuhinjskog namještaja, pločica i aparata bit će gotova jednim pritiskom na gumb.

To će također smanjiti problem odlaganja otpada. Neželjene stvari neće se bacati, nego će se jednostavno reprogramirati. Ako se kućanski aparat ili komad namještaja potrga, jednostavno ćete ga reprogramirati i on će ponovno biti nov.

Unatoč obećavajućim izgledima, Intelov tim more i veliki problemi. Jedan je kako uskladiti pokrete silnih milijuna catoma. Također, postoji problem brzine prijenosa svih tih informacija u tvar s mogućnošću programiranja, no postoje i neke prečice.

Primjerice, u filmovima znanstvene fantastike, čest primjer promjene oblika jest kad se normalna osoba najednom pretvori u čudovište. Prije je to bilo vrlo složeno za prikazati na filmu, no sada se može lako napraviti računalom. Prvo se odrede ključne točke na licu, primjerice nos i oči, na licima čovjeka i čudovišta. Svaki put kad se vektor pomakne, lice se postepeno mijenja iz jednog u drugo. Tad se računala programiraju da pomiču vektore od jednog lica prema drugom, na taj način polako mijenjajući lice čovjeka u lice čudovišta. Na isti način moći ćemo iskoristiti prečace kad mijenjamo oblik trodimenzionalnog predmeta.

Drugi problem je što električne sile između catoma nisu jake kao međuatomske sile koje drže oblik mnogih čvrstih predmeta. Kao što smo vidjeli, kvantne sile mogu biti iznimno jake, zaslužne za čvrsta svojstva metala i elastična svojstva plastike. Kopiranje tih kvantnih sila sa silama statičkog elektriciteta također može predstavljati problem u budućnosti.

Imao sam priliku svjedočiti izvanrednom razvoju tvari s mogućnošću programiranja iz prve ruke, kad sam odveo ekipu programa Science Channel u posjetu Sethu Goldsteinu na Sveučilištu Carnegie Mellon. U njegovom laboratoriju mogli ste vidjeti hrpe kocki razbacanih po stolu u raznim veličinama, svaka s ugrađenim čipom. Vidio sam dvije kocke čvrsto povezane električnim silama, a on me zamolio da ih pokušam razdvojiti rukama. Na svoje iznenađenje, nisam uspio. Električne sile koje su povezivale te dvije kocke bile su poprilično jake. Istaknuo je da bi

električne sile bile odgovarajući veće, kako bi se kocke smanjivale. Odveo me u drugi laboratorij, gdje mi je pokazao koliko su catomi zapravo postali maleni. Koristeći iste tehnologije koje se koriste za graviranje milijuna tranzistora na silicijske pločice, mogao je izrezati mikroskopske catome koji su bili veliki nekoliko milimetara. Štoviše, toliko su bili mali, da sam ih morao gledati pod mikroskopom kako bi ih jasno vidio. Nada se da će s vremenom, kontrolirajući njihove električne sile, moći učiniti da se poslože u bilo koji oblik pritiskom na gumb, gotovo kao što čarobnjak može napraviti koji god oblik mu padne na pamet.

Tada sam ga pitao: "Kako možeš dati detaljne upute milijardama i milijardama catoma, tako da se hladnjak pretvori, primjerice, u pećnicu? Izgleda kao programerska noćna mora." No, odgovorio mi je da nije potrebno dati svakom catomu detaljne upute. Svaki catom mora znati samo s kojim se susjednim catomom mora spojiti. Ako svaki catom dobije uputu da se mora spojiti samo s malim brojem susjednih catoma, tad bi se svi catomi čarobno namjestili u složene strukture (baš kako neuroni u mozgu male bebe znaju samo kako se spojiti sa susjednim neuronima, u razvoju mozga).

Pod pretpostavkom da se programiranje i stabilnost mogu riješiti, do kraja stoljeća cijele zgrade, ili čak gradovi, mogli bi se izgraditi pritiskom na gumb. Trebale bi se samo postaviti lokacije zgrada, iskopati temelji i prepustiti bilijunima catoma da se slože u cijele gradove iz šume ili pustinje.

Intelovi inženjeri predviđaju dan kad će catomi moći preuzeti i ljudski oblik. "Zašto ne? To je zanimljiva stvar za istraživanje", kaže Rattner. (Onda možda i robot T-1000 postane stvarnost.)

DALEKA BUDUĆNOST (2070. do 2100.)

SVETI GRAL: REPLIKATOR

Do 2100., zagovaratelji nanotehnologije vide čak i moćniji stroj: molekularni sastavljač, ili "replikator", sposoban kreirati bilo što. To bi bio stroj veličine perilice rublja. Stavili biste osnovne sirovine u njega, i pritisnuli gumb. Bilijuni i bilijuni nanobota u tom bi se trenutku nadvili nad sirovinama, svaki programiran da rastavi pojedinu molekulu i presloži je u sasvim novi proizvod. Taj bi stroj bio u mogućnosti proizvesti bilo što. Replikator bi bio krunsko postignuće strojarstva i znanosti, krajnje rješenje naših problema još otkad smo napravili prvo oruđe u prapovijesti.

Jedan od problema s replikatorom jest ogroman broj atoma koji se mora prerasporediti kako bi se kopirao neki predmet. Ljudsko tijelo, primjerice, ima preko 50 bilijuna stanica i više od 10^{26} atoma. To je golem broj, koji zahtijeva ogromnu količinu memorijskog prostora samo kako bi se pohranile lokacije svih atoma.

Jedan od načina da se to prevlada, jest izumom nanobota – još uvijek hipotetskog molekularnog robota. Nanoboti imaju nekoliko ključnih svojstava.

Prvo, mogu se reproducirati. Ako se mogu reproducirati jednom, onda mogu, u teoriji, napraviti neograničen broj kopija samih sebe. Tako da se treba napraviti samo prvi nanobot. Drugo, sposobni su identificirati molekule i izrezati ih na točno određenim mjestima. Treće, slijedeći glavni ključ, sposobni su prerasporediti te atome u drukčiji raspored. Tako bi za posao preraspodjele 10^{26} atoma trebalo otprilike jednako toliko nanobota, svaki dizajniran za manipulaciju određenim atomima. Na taj način, broj atoma u ljudskom tijelu nije više tako

zastrašujuća prepreka. Pravi problem je proizvesti prvi od tih teoretskih nanobota i pustiti ga da se reproducira.

Znanstvena zajednica je podijeljena oko pitanja je li san o nanoproizvodnji u potpunosti ostvariv i fizički moguć. Nekolicina, kao Eric Drexler, pionir nanotehnologije i autor knjige *Strojevi kreacije,* zamišlja budućnost gdje se svi proizvodi proizvode na molekularnoj razini, stvarajući izobilje dobara o kojima danas možemo samo sanjati. Svaki aspekt društva bio bi preokrenut naglavačke otkrićem stroja koji može stvoriti što god vam padne na pamet. Drugi znanstvenici su skeptični.

Pokojni Nobelov laureat Richard Smalley spomenuo je, primjerice, problem "ljepljivih prstiju" i "debelih prstiju" u članku u časopisu Scientific American 2001. Ključno pitanje je: može li se molekularni nanobot napraviti da bude dovoljno spretan da preraspoređuje molekule po volji? Prema njemu, odgovor je – ne.

Ova se debata otvorila kad su se Smalley i Drexler porječkali u nizu pisama, objavljenih na stranicama časopisa Chemical and Engineering News 2003. do 2004. Posljedice te debate osjećaju se i dan-danas. Smalleyevo stajalište je da "prsti" molekularnog stroja ne bi mogli izvesti taj osjetljiv zadatak iz dva razloga.

Prvi je taj da bi "prsti" imali male privlačne sile koje bi ih slijepile s drugim molekulama. Atomi se međusobno privlače, između ostalog, zbog slabih električnih sila, primjerice Van der Waalsovih sila, koje postoje između njihovih elektrona. Zamislite se kako pokušavate popraviti svoj ručni sat pincetom prekrivenom medom. Sastavljanje nečeg tako osjetljivog kao što su dijelovi satnog mehanizma bilo bi nemoguće. Sad zamislite sastavljanje nečega još složenijeg od satnog mehanizma, kao što je molekula, koja se konstantno lijepi za vaše prste.

Drugo, ti prsti mogli bi biti predebeli za manipuliranje atomima. Zamislite se popravljajući isti taj sat, samo ovoga puta imate debele pamučne rukavice. S obzirom na to da su "prsti" sačinjeni od individualnih atoma, baš kao i objekti kojima pokušavaju manipulirati, prsti su možda jednostavno predebeli za precizan posao.

Smalley zaključuje: "Baš kako ne možete natjerati dečka i djevojku da se zaljube gurajući ih jedno na drugo, tako ne možete stvoriti preciznu kemiju između dva molekularna objekta jednostavnim mehaničkim pokretom... Kemija, kao i ljubav, mnogo je suptilnija."

Ova debata ide u samu srž pitanja hoće li replikator jednog dana revolucionirati društvo, ili će se tretirati kao zanimljivost i otpremiti u tehnološki koš za smeće. Kao što smo vidjeli, zakoni fizike u našem svijetu ne prevode se jednostavno u nanosvijet. Učinci koje možemo zanemariti u našem svijetu, kao primjerice Van der Waalsove sile, površinska napetost, načelo neizvjesnosti, Paulijevo načelo isključenja i sl. postaju dominantni u nanosvijetu.

Kako biste bolje sagledali problem, zamislite da je atom veličine špekule, i da imate pun bazen takvih atoma. Kad biste pali u bazen, bilo bi znatno drukčije nego pad u bazen pun vode. "Špekule" bi stalno vibrirale i udarale bi vas iz svih smjerova zbog Brownovog gibanja. Pokušaj plivanja u takvom bazenu bio bi gotovo nemoguć, bilo bi to kao da pokušavate plivati u šećernom sirupu. Svaki put kad biste zamahnuli i dotaknuli jednu od molekula, ona bi se ili odmaknula od vas ili bi se zalijepila, zbog složenih zakonitosti i sila.

Na kraju, oba znanstvenika složila su se da se ne slažu. Iako Smalley nije uspio zadati smrtonosan udarac teoriji molekularnog replikatora, nekoliko je stvari postalo jasno nakon što se

slegla prašina. Prvo, obojica su se složila da se naivna ideja nanobota s molekularnim hvataljkama kojima rastavlja i sastavlja molekule mora modificirati. Druge kvantne sile postaju dominantne na atomskoj razini.

Drugo, iako je takav replikator danas znanstvena fantastika, njegova inačica već postoji. Majka Priroda, primjerice, može pretvoriti hamburgere i povrće u dijete, u samo devet mjeseci. Taj proces izvode molekule DNA (koje kodiraju nacrt djeteta) koje predvode aktivnost ribosoma (koji rastavljaju i sastavljaju molekule u pravilan raspored) koristeći proteine i aminokiseline koje se nalaze u vašoj hrani.

Treće, molekularni sastavljač bi mogao raditi, ali na sofisticiraniji način. Primjerice, kako je Smalley istaknuo, spajanje dva atoma ne garantira reakciju. Majka Priroda često rješava taj problem koristeći treću stranu – enzim u vodenoj otopini, kako bi potaknula kemijsku reakciju. Smalley je istaknuo da mnoge kemikalije koje nalazimo u računalima i električnoj industriji ne možemo rastaviti u vodi. Ali Drexler je osporio tu tvrdnju rekavši da sve kemijske reakcije ne uključuju vodu i enzime.

Jedna mogućnost je, primjerice, samozdruživanje ili pristup odozdo prema gore. Od daleke povijesti, ljudi su koristili pristup gradnji odozgo prema gore. S oruđima kao što su pila i čekić, pilili su drvo i tad sastavljali daske, tvoreći veće građevine kao što je kuća, slijedeći nacrt. Potrebno je pažljivo vodstvo i nadgledanje svakog koraka tog pristupa.

U pristupu odozgo prema gore, predmeti se sami sastavljaju. U prirodi, primjerice, prekrasne pahuljice snijega kristaliziraju se same od sebe u oluji. Bilijuni i bilijuni atoma preraspoređuju se kako bi tvorili nove oblike. Nitko ne treba dizajnirati svaku pahulju. To je česta pojava u biološkim sustavima također. Bakterijski ribosomi, složene molekularne strukture koje se sastoje od najmanje pedeset i pet različitih proteinskih molekula i nekoliko molekula RNA, mogu se spontano samozdružiti u epruveti.

Samozdruživanje se također koristi u industriji poluvodiča. Komponente koje se koriste u tranzistorima nekad se združe same od sebe. Koristeći različite složene tehnike i procese u preciznom slijedu (kao što su brzo hlađenje, kristalizacija, polimerizacija, unutarnje taloženje, solidifikacija i sl.) mogu se proizvesti različite, komercijalno iskoristive, računalne komponente.

No, većina stvari se ne stvara sama od sebe. Uglavnom, samo je mali broj nanomaterijala pokazao svojstvo samozdruživanja. Ne može se naručiti stroj koristeći samozdruživanje, kao što se može naručiti s menija, tako da je napredak u kreiranju nanostrojeva na taj način siguran, ali polagan.

Na kraju, molekularni sastavljač očigledno ne krši zakone fizike, no bit će ga izrazito teško napraviti. Nanoboti još uvijek ne postoje, i neće postojati u bližoj budućnosti, ali jednom kada (i ako) prvi nanobot bude uspješno proizveden, mogao bi iz temelja promijeniti društvo kakvo danas poznajemo.

PROIZVODNJA REPLIKATORA

Kako bi replikator mogao izgledati? Nitko ne zna točno, s obzirom da smo desetljeća, možda čak i stoljeće daleko od toga da ga zapravo proizvedemo, ali dobio sam uvid na to kako bi replikator mogao izgledati kad mi je glava bila doslovno udvostručena. Za dokumentarac programa Science Channel, napravili su vjerodostojnu trodimenzionalnu kopiju moga lica, od plastike, skenirajući

moje lice horizontalnom laserskom zrakom. Kako je zraka prolazila mojim licem, senzor je bilježio refleksiju i reproducirao sliku u računalu. Nakon nekoliko trenutaka, skenirao mi je cijelo lice, i sliku podijelio na mnoštvo horizontalnih isječaka. Na ekranu je bila trodimenzionalna slika mojeg lica, točnosti otprilike jedne desetine milimetra.

Tad su podaci poslani u veliki uređaj, veličine hladnjaka, koji može izraditi plastičnu trodimenzionalnu sliku gotovo bilo čega. Uređaj ima malu sapnicu koja se miče horizontalno, radeći mnogo prolaza. Svakim prolazom, pošpricao je malu količinu otopljene plastike, kopirajući izvornu lasersku sliku mojeg lica. Nakon otprilike 10 minuta i brojnih prolaza, model je izašao iz stroja, izgledajući zastrašujuće slično mojemu licu.

Komercijalna primjena te tehnologije je ogromna, s obzirom da možete kreirati realističnu kopiju bilo kojeg trodimenzionalnog objekta, primjerice složenih dijelova stroja, u samo nekoliko minuta. Lako se može zamisliti uređaj koji će, nekoliko desetljeća u budućnosti, moći izraditi trodimenzionalnu repliku predmeta s atomskom preciznošću.

Sljedeća razina bila bi korištenje tih trodimenzionalnih skenera u izradi živih organa ljudskog tijela. Na Sveučilištu Wake Forest, znanstvenici su otkrili nov način stvaranja živog srčanog tkiva koristeći ink-jet pisač. Prvo, morali su pažljivo napisati softverski program koji uspješno raspršuje živo srčano tkivo kako mlaznica prolazi. Koristili su obični ink-jet pisač čiji je spremnik bojom bio napunjen mješavinom tekućine koja sadrži živo srčano tkivo. Na taj su način imali kontrolu nad preciznim trodimenzionalnim postavljanjem svake stanice. Nakon nekoliko prolaza, zapravo su stvorili slojeve srčanog tkiva.

Postoji još jedan instrument koji bi jednog dana mogao snimiti položaj svakog atoma u našem tijelu; uređaj za magnetsku rezonanciju. Kao što smo spomenuli ranije, MR-skener ima razlučivost od otprilike desetine milimetra. Što znači da svaki piksel sadrži nekoliko tisuća stanica. Ali ako proučite fizičke zakone koje stoje iza MR-uređaja, doznajemo da je točnost slike povezana s homogenošću magnetskog polja unutar stroja. Ako učinimo magnetsko polje homogenijim, možemo imati razlučivost veću od desetine milimetra.

Znanstvenici već zamišljaju stroj baziran na MR s rezolucijom na staničnoj razini, čak i većoj, na razini individualnih molekula i atoma.

Replikator ne krši zakone fizike, no bit će ga teško napraviti koristeći samozdruživanje. Krajem stoljeća, kad konačno savladamo tehnike samozdruživanja, možemo razmišljati o komercijalnim uporabama replikatora.

SIVO BLATO

Neki ljudi, uključujući Billa Joya, utemeljitelja tvrtke Sun Microsystems, izrazili su suzdržanost oko nanotehnologije, govoreći kako je samo pitanje vremena prije nego se tehnologija otme kontroli i proždre sve minerale na Zemlji izbacujući beskorisno sivo blato. Čak je i princ Charles govorio protiv nanotehnologije i scenarija sivog blata.

Opasnost leži u ključnoj osobini nanobota – njihovoj mogućnosti da se reproduciraju. Poput virusa, ne može ih se opozvati jednom kad ih se pusti u okoliš. S vremenom, mogli bi se toliko divlje proširiti da preuzmu okolinu i unište Zemlju.

Moje osobno stajalište jest da imamo još mnogo desetljeća, čak i stoljeća dok ova tehnologija ne bude dovoljno zrela za izradu replikatora, tako da je briga oko sivog blata preuranjena. Kako

prolaze desetljeća, bit će dovoljno vremena za dizajniranje sigurnosnih mjera protiv nanobota koji se otmu kontroli. Primjerice, moguće je napraviti sigurnosni sustav, koji bi pritiskom na gumb za paniku isključio sve nanobote. Ili bi se mogli napraviti "roboti ubojice" posebno napravljeni za pronalaženje i uništavanje nanobota koji su se oteli kontroli.

Drukčiji način za rješavanje tog problema jest proučavanje Majke Prirode, koja ima milijarde godina iskustva s tim problemom. Naš svijet prepun je samoreplicirajućih molekularnih oblika života, koje zovemo virusi i bakterije, koji se mogu razmnožavati bez kontrole i mutirati. No naše tijelo također je razvilo svoje "nanobote" u obliku antitijela i bijelih krvnih stanica našeg imunološkog sustava, koji pronalaze i uništavaju strana tijela. Taj sustav zasigurno nije savršen, ali daje nam model za rješavanje problema nanobota koji se otmu kontroli.

DRUŠTVENE POSLJEDICE REPLIKATORA

Za zajednički dokumentarac programa BBC/Discovery Channel u kojemu sam bio domaćin, Joel Garreau, autor knjige *Radikalna evolucija* rekao je: "Ako uređaj za samozdruživanje ikad bude moguć, bit će to jedan od velikih povijesnih trenutaka. Tad će se svijet stvarno promijeniti u nešto što nismo nikad prije mogli zamisliti."

Postoji jedna stara izreka: "Pazi što poželiš, možda ti se i ostvari." Sveti gral nanotehnologije je uređaj za samozdruživanje ili replikator, no kad se izumi, mogao bi promijeniti same temelje našega društva. Sve filozofije i društveni sustavi na neki su način bazirani na oskudnosti i siromaštvu. Kroz ljudsku povijest, to je bila dominantna tema koja se kretala kroz društvo, oblikujući našu kulturu, filozofiju i religiju. U nekim religijama, blagostanje se tumači kao božanska nagrada, a siromaštvo kao kazna. Budizam je, s druge strane, baziran na univerzalnoj prirodi patnje i kako se nositi njome. U kršćanstvu, Novi Zavjet kaže: "Lakše će deva proći kroz iglene uši nego bogataš u kraljevstvo Božje."

Distribucija bogatstva također definira samo društvo. Feudalizam je baziran na očuvanju bogatstva nekolicine aristokrata od siromaštva seljaka. Kapitalizam je baziran na ideji da su energični, produktivni ljudi nagrađeni za svoj rad osnivajući kompanije i bogaćenjem. No ako lijeni, neproduktivni ljudi mogu dobiti koliko god čega požele, gotovo besplatno, pritiskom na gumb, kapitalizam više ne funkcionira. Replikator će uzdrmati cijelo društvo, okrenuti ljudske odnose naglavačke. Razlike između onih koji imaju i oni koji nemaju mogle bi nestati, a zajedno s time koncept društvenog statusa i političke moći.

Ova zagonetka istražena je u epizodi *Zvjezdanih staza: Sljedeća generacija* kad je pronađena kapsula iz dvadesetog stoljeća nađena kako pluta svemirom. Unutar kapsule smrznuta su tijela dvoje ljudi koji su patili od neizlječive bolesti njihovog primitivnog vremenskog perioda, nadajući se kako će biti izliječeni u budućnosti. Liječnici na međuzvjezdanom brodu *Enterprise* brzo ih izliječe i ožive. Sretnici su iznenađeni da se njihov rizik isplatio, no jedan od njih je zadrti kapitalist. Prvo što je pitao bilo je: "Koja je godina?" Kad je saznao da se nalazi u 24. stoljeću, brzo je uvidio da njegove investicije zasigurno vrijede cijelo bogatstvo. Odmah zahtijeva da kontaktira bankara na Zemlji, no posada *Enterprise*a je zbunjena. Novac? Investicije? To ne postoji u budućnosti. U 24. stoljeću jednostavno tražite nešto, a zatim to i dobijete.

To također postavlja pitanje potrage za savršenim društvom, ili utopijom – riječju prvi put spomenutom u djelu sir Thomasa Morea 1516. pod naslovom *Utopija*. Zgrožen patnjom i siromaštvom koje je vidio oko sebe, zamislio je raj na izmišljenom otoku u Atlantskom oceanu. U 19. stoljeću postojali su mnogi društveni pokreti u Europi koji su tražili različite oblike utopije.

Mnogi od njih našli su utočište bijegom u SAD, gdje postoje dokazi njihovih naselja čak i danas.

Na neki način, replikator bi nam mogao podariti utopiju kakvu su jednom zamišljali vizionari 19. stoljeća. Prethodni pokusi utopije propali su zbog oskudnosti, koja je vodila nejednakosti, zatim svađama i na kraju propasti. No ako bi replikatori riješili problem oskudnosti, onda je možda utopija na dohvat ruke. Umjetnost, glazba i poezija će procvasti, i ljudi će biti slobodni istraživati svoje snove i želje.

No, s druge strane, bez motivirajućeg faktora oskudnosti i novca, to bi nas moglo dovesti do degenerativnog društva sklonog uživanju, koje tone na najnižu razinu. Samo mali broj ljudi nastrojenih umjetnosti će težiti pisanju poezije. Ostatak će, tvrde kritici, postati lijenčine i skitnice.

Čak i definicije koje koriste utopisti su upitne. Primjerice, mantra socijalizma je: "Od svakoga prema njegovim sposobnostima, svakome prema njegovom doprinosu." Mantra komunizma, najvišeg stadija socijalizma je: "Od svakoga prema njegovim sposobnostima, svakome prema njegovim potrebama."

No, kada bi replikatori bili mogući, mantra se pretvara u: "Svakome prema njegovim željama."

Postoji i treće stajalište. Prema načelu špiljskog čovjeka, osnovne ljudske osobine nisu se promijenile mnogo u zadnjih 100.000 godina. Tada nije bilo poslova. Antropolozi kažu da su primitivna društva bila većinom zajednice koje su jednako dijelile dobra kao i nevolju. Dnevni ritam nije bio određen poslom ni plaćom, jer ti nisu niti postojali.

Opet, ljudi tog vremena nisu postali lijenčine iz nekoliko razloga. Prvo, umrli bi od gladi. Ljudi koji nisu radili svoj dio posla, bili bi izbačeni iz plemena, i uskoro bi iščezli. Drugo, ljudi su bili ponosni na svoj posao, čak su i pronašli smisao u svojim dužnostima. Treće, održavati status produktivnog člana zajednice uzrokovao je veliki društveni pritisak. Produktivni pojedinci mogli su se ženiti i prenositi svoje gene na sljedeće generacije, dok su geni lijenčina obično umirali zajedno s njima.

Zašto bi onda ljudi živjeli produktivnim životima kad se replikatori izume, a mogli bi imati što god požele? Prvo, replikatori bi osiguravali da nitko ne umre od gladi. S druge strane, većina će ljudi vjerojatno i dalje nastaviti raditi zato što su ponosni na svoja umijeća i vještine, i potragu za smislom svoga rada. Treći razlog je upravo društveni pritisak, koji je teže održati bez narušavanja osobnih sloboda. Umjesto društvenog pritiska, vjerojatno bi se dogodio velik pomak u edukaciji, da se promijeni ljudsko stajalište prema poslu i nagradi, kako se replikatori ne bi iskorištavali za zlo.

Srećom, kako će napredak biti polagan, i replikatori su još uvijek cijelo stoljeće od nas, bit će dovoljno vremena za raspravljanje o prednostima i implikacijama te tehnologije, te za prilagođavanje društva novoj stvarnosti kako se ono ne bi raspalo.

Više nego vjerojatno, prvi replikator bit će skup. Kako je stručnjak za robotiku s MIT-ja rekao: "Nanotehnologija će napredovati, baš kao što i fotolitografija napreduje – na jako skup i kontroliran način, ne kao slobodna tehnologija za široku uporabu." Problem neograničenih besplatnih dobara neće biti toliki problem. Uzevši u obzir usavršavanje tih strojeva, može proći mnogo desetljeća nakon što budu izumljeni, dok ne počnu smanjivati troškove.

Imao sam jednom zanimljiv razgovor s Jamaisom Casciom, vodećim futuristom s dugačkom

karijerom pažljivog razmatranja obrisa sutrašnjice. Prvo, rekao mi je da sumnja u teoriju singularnosti spomenutu u drugom poglavlju, jer su ljudska priroda i socijalna dinamika previše zamršene, složene i nepredvidive da bi se uklopile u jednostavnu i pravilnu teoriju. No također je priznao da bi izvanredni napretci u nanotehnologiji mogli jednoga dana stvoriti društvo u kojemu postoji izobilje dobara, posebice s robotima i replikatorima. Tad sam ga pitao: "Kako će se društvo ponašati kada dobra budu gotovo besplatna, kada društvo konačno bude toliko bogato da nema potrebe za radom?"

Dvije bi se stvari dogodile, rekao je. Prvo, zaključio je da bi bilo dovoljno bogatstva kako bi se svima osigurao pristojan, minimalni prihod, čak i ako ne bi radili. Tako da bi vjerojatno postojao dio populacije stalnih lijenčina. To naravno nije poželjno, ali je neizbježno, posebice ako bi replikatori i roboti osiguravali sve naše materijalne potrebe. Drugo, to bi se kompenziralo oslobađanjem revolucije poduzetničkog duha. Oslobođeni od straha propasti, siromaštva i neuspjeha, vise bi marljivih pojedinaca dobilo inicijativu pristati na dodatni rizik stvaranja novih industrija i novih prilika za druge. Predvidio je novu renesansu društva, kako bi se kreativni duh oslobodio straha bankrota.

U vlastitome polju – fizici, većina nas upuštamo se u to ne zbog novca, nego zbog radosne želje otkrivanja i inovacije. Često odbijamo primamljivije poslove u drugim poljima zato što slijedimo san, ne novac. Znam da umjetnici i intelektualci dijele isti osjećaj – da njihov cilj nije okrupniti svoj bankovni račun što je više moguće, već biti kreativan i oplemeniti ljudski duh.

Osobno mislim, ako do 2100. društvo postane toliko bogato materijalnim dobrima, da će društvo reagirati na sličan način. Mali dio populacije oformit će se u klasu ljudi koji jednostavno odbijaju raditi, dok će drugi biti oslobođeni ograničenja siromaštva i slijediti kreativna, znanstvena i umjetnička dostignuća.

No postoji jedan problem koji čak ni replikatori ne mogu riješiti, a to je problem energije. Sve te čudotvorne tehnologije zahtijevaju ogromne količine energije koja ih pokreće. Odakle će ta energija doći?

5. BUDUĆNOST ENERGIJE

Energija od zvijezda

Kameno doba nije okončano jer je ponestalo kamena. A naftno doba će okončati mnogo prije no što svijet ostane bez nafte.

— JAMES CANTON

Moje je mišljenje da (fuzija) ima značaj otkrića vatre, još u maglama pretpovijesti.

— BEN BOVA

Zvijezde su bile izvori energije bogova. Kada se Apolon vozio nebom u svojoj kočiji vučenoj konjima koji su rigali vatru, osvijetlio je nebesa i Zemlju beskrajnom snagom Sunca. Njegovoj snazi odgovarala je jedino snaga samog Zeusa. Kad je Semela, jedna od Zeusovih bezbrojnih smrtnih ljubavnica, jednom molila da joj se ukaže u svojem istinskom obličju, Zeus joj je tu želju nevoljko ispunio. Izljev zasljepljujuće kozmičke energije koji je uslijedio spržio je Semelu.

U ovom stoljeću uspjet će nam crpsti snagu zvijezda, izvora energije bogova. Kratkoročno to znači da će solarna i vodikova energija zamijeniti energiju iz fosilnih goriva. Ali dugoročno to uključuje fuzijsku i solarnu energiju iz svemirskog prostora. Daljnji napredak u fizici pretpostavlja i nastupanje magnetskog doba koje će svjedočiti automobilima, vlakovima pa čak i skateboardima koji će plutati u zraku na magnetskom jastuku. Potrošnja energije mogla bi drastično pasti, s obzirom da se najveći dio energije za pokretanje automobila i vlakova troši upravo na svladavanje trenja s podlogom.

KRAJ NAFTE?

Danas je naš svijet neraskidivo povezan s fosilnim gorivima u obliku nafte, prirodnog plina i ugljena. Sveukupno svijet troši 14 bilijuna vati snage, od čega 33 posto otpada na naftu, 25 posto na ugljen, 20 posto na plin, 7 posto na nuklearnu energiju, 15 posto na biomasu i hidroenergiju, dok bijednih 0,5 posto dolazi od Sunca i obnovljivih izvora.

Bez fosilnih goriva svjetsko bi gospodarstvo došlo u škripac.

Čovjek koji je jasno sagledao kraj naftnog doba bio je M. King Hubbert, petrokemijski

inženjer u tvrtci Shell Oil. Godine 1956. Hubbert je održao vizionarski govor u Američkom petrokemijskom institutu, iskazavši uznemirujuće predviđanje koje je u to vrijeme bilo jednoglasno odbačeno od njegovih kolega. Predvidio je da se američke naftne rezerve tako brzo smanjuju da će uskoro 50 posto nafte biti iscrpljeno, što će poslužiti kao okidač nepovratnog razdoblja pada gospodarstva u godinama između 1965. i 1971. Uvidio je da se ukupne rezerve nafte u SAD-u mogu predočiti grafički u obliku zvonolike krivulje, te da su se Amerikanci u to vrijeme nalazili negdje na sredini, pri vrhu krivulje. Otad pa nadalje, predviđao je, stvari mogu ići samo nizbrdo. To je imalo značiti da će naftu biti sve teže crpsti, što pak znači da će se dogoditi nemoguće: SAD će početi uvoziti naftu.

Njegovo se predviđanje moglo učiniti preuranjenim, čak nečuvenim i neodgovornim, s obzirom da se u SAD-u u to vrijeme još uvijek crplo goleme količine nafte u Teksasu i drugdje u zemlji. No naftni se inženjeri više ne smiju. Hubbertovo je predviđanje bilo točno na kazaljku. Do 1970. proizvodnja nafte u SAD-u bila je na vrhuncu od oko 10,2 milijuna barela na dan i otad samo pada. Nikad se više nije povećala. Dan-danas SAD uvozi 59 posto nafte. Uistinu, ako se usporedi dijagram Hubbertovih predviđanja od prije mnogo desetljeća s dijagramom stvarne proizvodnje nafte u SAD-u do 2005., nalaz je da su dvije krivulje gotovo identične.

Ključno pitanje pred naftne inženjere bilo bi tada: jesmo li pri vrhu Hubbertove krivulje i kad je riječ o svjetskim rezervama nafte? Još tamo 1956. Hubbert je također predviđao da će globalna proizvodnja nafte biti na vrhuncu za oko 50 godina. I opet bi mogao biti u pravu. Kad se naša djeca osvrnu na ovo naše vrijeme, hoće li vidjeti fosilna goriva kao što mi sada vidimo gorivo dobiveno od kitova sala, kao nesretnu relikviju daleke prošlosti?

U mnogo navrata predavao sam u Saudijskoj Arabiji i duž Bliskog istoka, o znanosti, energiji i budućnosti. U jednu ruku, Saudijska Arabija posjeduje 267 milijardi barela nafte, tako da se čini kao da pluta na golemom podzemnom jezeru sirove nafte. Putujući kroz Saudijsku Arabiju i zemlje Perzijskog zaljeva, mogao sam svjedočiti neumjesnom rasipanju energije u obliku golemih kuljajućih fontana usred pustinje, koje stvaraju mastodontska umjetna jezera i lokve. U Dubaiju postoji čak zatvoreno skijalište s tisućama tona umjetnog snijega, usprkos nepodnošljivoj vrućini izvana.

Ali ministri nafte su sada zabrinuti. U pozadini svekolike retorike o “dokazanim naftnim rezervama” koje bi nas trebale uvjeriti da imamo dovoljno nafte za nadolazeća desetljeća, krije se i spoznaja da su mnoge od tih autoritativnih brojki tek pusta nadanja. “Dokazane naftne rezerve”, fraza je koja zvuči autoritativno i konačno, sve dok se ne shvati da su to rezerve stvorene u mašti lokalnih ministara i pod teškim političkim pritiskom.

Obraćajući se energijskim stručnjacima, mogao sam svjedočiti uspostavi konsenzusa: ili smo na vrhu Hubbertove krivulje za svjetsku proizvodnju nafte ili tek desetljeće od sudbonosnog vrha. Što znači da u bliskoj budućnosti ulazimo u razdoblje nepovratnog pada.

Dakako, nikad nam neće posve ponestati nafte. Nova nalazišta stalno se otkrivaju. Ali trošak crpljenja i rafiniranja postupno će probiti plafon. Primjerice, Kanada ima goleme rezerve katrana, dovoljne da snabdijeva cio svijet desetljećima, ali troškovno izdvajanje i rafiniranje katrana nisu isplativi. SAD ima dovoljno rezervi ugljena za narednih 300 godina, ali postoje pravna ograničenja, a i trošak pročišćavanja od raznih nečistoća i plinova je pregolem.

Nadalje, nafta se otkriva u politički lako zapaljivim regijama, što doprinosi svjetskoj nestabilnosti. Krivulja cijena nafte, predočenih kroz desetljeća, podsjeća na tračnice kojima vozi vlak smrti, s vrhuncem od 140 dolara po barelu 2008. (i više od 4 dolara po galonu na benzinskim

crpkama), a onda se sunovraćujući zbog globalne krize. I premda ima neočekivanih obrata, uslijed političkih nemira, spekulacija, glasina itd., jedno je jasno: u prosjeku, cijena nafte će dugoročno rasti.

To će se duboko odraziti na svjetsko gospodarstvo. Ubrzan razvoj moderne civilizacije u dvadesetom stoljeću ima zahvaliti dvama činjenicama: jeftinoj nafti i Mooreovom zakonu. S rastućim cijenama energije, raste i pritisak na svjetsku proizvodnju hrane i upravljanje onečišćenjem. Kao što reče romanopisac Jerry Pournelle: "Hrana i onečišćenje nisu primarni problemi: to su energetski problemi. Uz dovoljno energije možemo proizvesti hrane u izobilju, ako se ukaže potreba, uz pomoć intenzivne proizvodnje poput hidroponija1 ili staklenika. S onečišćenjem je slično: uz dovoljno energije, onečišćivači mogu biti pretvoreni u iskoristive proizvode; ukoliko je to potrebno, rastavljene u građevne jedinice."

Suočavamo se, također, i s još jednim problemom: porastom pučanstva iz srednje klase u Kini i Indiji, jednom od velikih demografskih promjena u poslijeratnom razdoblju koja je prouzročila ogroman pritisak na cijene nafte i dobara. Vidjevši McDonald'sove hamburgere i garaže za dva automobila u hollywoodskim filmovima, ti ljudi jednako žele živjeti američki san neograničene potrošnje energije.

BLISKA BUDUĆNOST (OD SADA PA DO 2030.)

SOLARNA/VODIKOVA EKONOMIJA

U ovom pogledu povijest se izgleda ponavlja. Još tamo 1900-tih Henry Ford i Thomas Edison, dva doživotna prijatelja, kladili su se koji će izvor energije opskrbljivati čovječanstvo u budućnosti. Henry Ford se kladio da će ulje zamijeniti ugljen, te da će motor s unutrašnjim izgaranjem zamijeniti parni stroj. Thomas Edison okladu je stavio na električni auto. Bila je to sudbonosna oklada, ishod koje je mogao korjenito promijeniti svjetsku povijest. Neko vrijeme se činilo da će Edison dobiti okladu, jer je ulje od kitova sala bilo iznimno teško dobiti. No otkriće jeftinih izvorišta benzinskog ulja (nafte) na Bliskom istoku i drugdje presudilo je u Fordovu korist. Svijet nikad više nije bio isti. Baterije se nisu mogle nadmetati s fenomenalnim uspjehom benzina. (Čak i danas, kilogram za kilogram, benzin sadrži oko četrdeset puta više energije nego baterija.)

Ali klima se pomalo mijenja. Možda još Edison i dobije okladu, stoljeće nakon što je postavljena.

Pitanje koje se postavlja u dvoranama vlasti i industrije jest sljedeće: što će zamijeniti naftu? Ne postoji jednoznačan odgovor. U bliskoj budućnosti nema neposredne zamjene za fosilna goriva, najvjerojatnije je da ćemo koristiti sve izvore na raspolaganju, od kojih niti jedan ne dominantno.

Ali najizgledniji nasljednik je solarna/vodikova energija (na osnovi obnovljivih tehnologija kao što su solarne ćelije, vjetroelektrane, hidroelektrane i vodikove ćelije).

Trenutno je trošak proizvodnje energije solarnim ćelijama nekoliko puta veći od cijene struje proizvedene u termoelektranama. Ali cijena solarne/vodikove energije pada uslijed stalnog tehnološkog razvoja, dok cijena fosilnih goriva nastavlja polagani rast. Predviđanja su da će se dvije krivulje cijena ukrstiti u narednih 10 ili 15 godina. Tada će tržište učiniti svoje.

SNAGA VJETRA

Kratkoročno, "obnovljivci" poput energije vjetra pravi su pobjednici. U svjetskim razmjerima, pogonska snaga dobivena od vjetra porasla je sa 17 milijardi vata 2000. godine na 121 milijardu vata 2008. godine. Energija vjetra, nekoć smatrana minornim sudionikom, postaje sve popularnijom. Nedavni napredak u tehnologiji vjetroturbina unaprijedio je iskoristivost i produktivnost farmi vjetrogeneratora, koje čine jedan od najbrže rastućih sektora tržišta energije.

Farme vjetrogeneratora današnjice odjek su starih vjetrenjača koje su pogonile gospodarstva i mlinove krajem 19. stoljeća. Siguran i neopasan po okoliš, pojedinačni vjetrogenerator može proizvesti 5 megavata snage, dovoljno za malo selo. Vjetroturbina ima ogromne glatke krakove propelera, oko 30 m duge, koji se okreću gotovo bez trenja. Proizvodi struju na isti način na koji to čine hidroelektrana ili dinamo bicikla. Rotiranjem magneta unutar zavojnice. Rotirajuće magnetsko polje tjera elektrone unutar zavojnice, generirajući tako struju. Velika farma vjetrogeneratora, koja broji 100 vjetrenjača, može proizvesti 500 megavata, što je usporedivo s 1000 megavata proizvedenih u jednoj termoelektrani ili nuklearnoj elektrani.

Posljednjih nekoliko desetljeća Europa je bila svjetski predvodnik na polju tehnologije vjetra. No odnedavna SAD je preuzeo taj primat. SAD je 2009. proizveo tek 28 milijardi vata električne snage iz snage vjetra. Ali samo Teksas proizvodi 8 milijardi vata iz snage vjetra, a u konstrukciji su postrojenja za još milijardu vata, te ih je još i više u planu. Ako sve pođe kao što je zamišljeno, Teksas bi trebao proizvoditi 50 milijardi vata električne snage iz snage vjetra, više nego dovoljno za potrebe 24 milijuna stanovnika te države.

Kina će uskoro prestići SAD u proizvodnji energije pomoću vjetroelektrana. Njezin program Wind Base obuhvaća šest farmi vjetrogeneratora kapaciteta od 127 milijardi vata.

I premda snaga vjetra izgleda sve privlačnijom i nedvojbeno će biti sve korištenijom u budućnosti, sama ne može poslužiti kao dominantan izvor energije. U najboljem slučaju bit će dio većeg, mješovitog energijskog postrojenja. Energija od vjetra suočava se s nekoliko problema. Ponajprije, generirana je tek sporadično, kad vjetar puše, a i tada samo u nekim ključnim predjelima svijeta. Također, uslijed gubitaka tijekom prijenosa električne energije, vjetroelektrane moraju biti u blizini gradova, što dalje ograničava njihovu korist.

TU DOLAZI SUNCE

U konačnici sva energija dolazi od Sunca. Pa i nafta i ugljen su, u neku ruku, koncentrirana Sunčeva svjetlost, u obliku energije koju su apsorbirale biljke i životinje prije mnogo milijuna godina. Posljedično, količina energije pohranjene u galonu benzina mnogo je veća od one u ekvivalentnoj bateriji. To je bio fundamentalni problem s kojim se morao suočiti Edison početkom prošlog stoljeća, a to je i naš problem danas.

Solarne ćelije djeluju prema načelu izravne pretvorbe Sunčeve energije u električnu. (Taj proces objasnio je Einstein 1905. godine. Kad čestica svjetlosti, foton, padne na metal, elektron biva ponekad izbačen, što u konačnici znači da struja potekne.)

Solarne ćelije, međutim, nisu odveć učinkovite. I nakon desetljeća truda inženjera i znanstvenika, učinkovitost solarnih ćelija kreće se oko 15 posto. Tako da se istraživanje račva u dva pravca. Jedan je povećati učinkovitost solarnih ćelija, što je ozbiljan tehnički problem. Drugi je umanjiti troškove proizvodnje, postavljanja i izvedbe solarnih parkova.

Primjerice, potrebe za električnom energijom SAD-a mogle bi se pokriti ako bi se cijela

površina Arizone prekrila solarnim ćelijama, što je očito nepraktično. Međutim, prava na velike parcele Sahare odjednom su vruća tema, tako da ulagači već grade goleme solarne parkove usred pustinje ne bi li namirili europske potrošače.

Ili u gradovima, što bi koštalo prekriti domove i zgrade solarnim ćelijama, na taj način utječući na cijenu tako dobivene energije. To nosi nekoliko prednosti, uključujući uklanjanje gubitaka pri prijenosu energije iz središnjeg postrojenja. Problem je tu umanjiti trošak. Brzi račun pokazuje da bi se morao svaki novčić istresti, ne bi li se takvi poduhvati učinili iole isplativim.

I premda se solarna energija još nije dokazala, nedavna kolebanja u cijeni nafte potakla su napore da se solarna energija konačno izvede na tržište. Klima se opet mijenja. Rekordi se obaraju svakih nekoliko mjeseci. Proizvodnja struje pomoću solarne energije raste za 45 posto godišnje, tako se gotovo udvostručujući svakih dvije godine. U svjetskim razmjerima, instalirano je solarnih ćelija ekvivalentno 15 milijardi vata, od čega je 5,6 milijardi vata vrijednih postrojenja dodano samo 2008. godine.

Godine 2008. tvrtka Florida Power & Light najavila je najveći dosad projekt vezan uz solarne ćelije u SAD-u. Ugovor je ponudio SunPower, koji namjerava proizvoditi 25 megavata snage. (Trenutno proizvodni rekord u SAD-u drži vojna zračna baza Nellis iz Nevade, s elektranom koja proizvodi 15 megavata sunčane snage.)

Tvrtka BrightSourceEnergy, iz Oaklanda u Kaliforniji, najavila je 2009. godine planove za obaranje tog rekorda, gradeći 14 elektrana koje će ukupno proizvoditi 2,6 milijarde vata i biti raspršene kroz Kaliforniju, Nevadu i Arizonu.

Jedan od projekata tvrtke BrightSource jest i elektrana Ivanpah koja će se sastojati od tri solarne termoelektrane zamišljene da se izgrade u Južnoj Kaliforniji, i koja bi proizvodila 440 megavata snage. U zajedništvu s tvrtkom Pacific Gas and Electric, BrightSource namjerava izgraditi elektranu od 1,3 milijarde vata u pustinji Mojave.

Godine 2009. tvrtka First Solar, najveći svjetski proizvođač solarnih ćelija, najavila je izgradnju najveće solarne elektrane na svijetu, na sjeveru nedaleko od Kineskog zida. Desetogodišnji ugovor, čiji se detalji još uvijek dogovaraju, predviđa ogromno solarno postrojenje koje bi sadržavalo 27 milijuna tankih solarnih ćelija i koje bi proizvodile 2 milijarde vata snage, ili ekvivalent proizvodnje dviju termoelektrana, tako zadovoljavajući potrebe tri milijuna kućanstava. Postrojenje, koje će prekrivati oko 65 km2, bit će smješteno u unutrašnjosti Mongolije i zapravo je dio mnogo većeg energijskog parka. Kineski dužnosnici ističu kako je elektrana tek komponenta u tom postrojenju, koje će u konačnici proizvoditi 12 milijardi vata snage iz energije vjetra, Sunca, biomase i hidroenergije.

Ostaje za vidjeti hoće li ti ambiciozni projekti nadvladati prepreke inspekcija za okoliš i dodatnih troškova, ali, kako bilo da bilo, solarno gospodarstvo upravo prolazi klimaks i mnoge tvrtke vide solarnu energiju kao takmaca termoelektranama.

ELEKTRIČNI AUTO

Kako se oko pola svjetske proizvodnje nafte koristi za pokretanje automobila, kamiona, vlakova i aviona, postoji istaknuto zanimanje za reformu tog dijela gospodarstva. Sada se odvija utrka da se utvrdi tko će upravljati budućnošću automobila, dok se narodi nalaze na pragu povijesnog prijelaza s fosilnih goriva na električnu energiju. Nekoliko je razina u tom prijelazu. Prva je

hibridni auto, već na tržištu, koji je pokretan kombiniranim pogonom koji rabi električnu energiju i benzin. Taj pogon rabi maleni motor s unutarnjim izgaranjem ne bi li riješio dugoročni problem s baterijom: teško je napraviti bateriju koja bi funkcionirala na velikim udaljenostima, kao i omogućila trenutno ubrzanje.

Ali hibrid je tek prvi korak. Takozvani hibridni plug-in auto, primjerice, posjeduje bateriju dovoljno snažnu da pokreće auto prvih 80 km prije no što se uključi benzinski motor. Kako većina ljudi putuje na toj udaljenosti, znači da su ti automobili pokretani u potpunosti električnom energijom tokom cijelog vremena vožnje.

Jedan od favorita u utrci modela plug-in je i auto imena Chevy Volt, koji proizvodi General Motors. Njegov je domet 64 km (koristeći isključivo litijsku bateriju) i 483 km koristeći dodatno i mali benzinski motor.

A onda, tu je i Tesla Roadster, koji uopće ne koristi benzinski motor. Proizvodi ga tvrtka Tesla Motors, iz Silicijske Doline, jedina tvrtka u Sjevernoj Americi koja prodaje automobile na isključivo električni pogon iz serijske proizvodnje. Roadster je uglađeni sportski auto koji se može utrkivati s bilo kojim benzinski pokretanim autom, tako opovrgavajući sumnje u mogućnosti litijske baterije da se nosi s benzinskim motorima.

Imao sam priliku voziti dvosjed Tesle, vlasnika Johna Hendricksa, osnivača tvrtke Discovery Communications, roditeljske tvrtke Discovery Channela. I dok sam sjedio na mjestu vozača, gospodin Hendricks me poticao da dam gasa kolikom god mogu snagom, ne bih li iskušao njegov auto. Prihvatio sam njegov savjet, i nagazio. Trenutno sam osjetio polet stroja. Moje je tijelo potonulo u naslonjaču dok je automobil postizao 100 km/h u svega 3,9 sekundi. Jedno je slušati hvalospjev inženjera o mogućnostima svog potpuno električnog auta; drugo je stisnuti gas i sam se osvjedočiti.

Uspješno oglašavanje Tesle prisililo je i glavne proizvođače u industriji da nadoknade izgubljeno vrijeme, nakon desetljeća oklijevanja. Robert Lutz je kazao, još u vrijeme dok je bio potpredsjednik tvrtke General Motors: “Svi geniji ovdje u tvrtci General Motors uvjeravali su me da je litijska tehnologija 10 godina nadomak, i Toyota se složila – a onda je izašao Tesla. Upitao sam: ‘Kako to da neka početnička, malena tvrtka iz Kalifornije, koju vode ljudi koji nemaju pojma o automobilskoj industriji, može, a mi ne možemo?’”

Nissan Motors prednjači u namjeri da ponudi potpuno električni auto i prosječnom kupcu. Ime tog auta je Leaf, ima domet od 161 km, maksimalnu brzinu od 145 km/h.

Nakon električnog auta, u izložbene prostore mogao bi ući i auto na gorivu ćeliju, ponekad smatran automobilom budućnosti. U lipnju 2008. Honda Motor Company najavila je debi prvog u svijetu komercijalnog auta na gorivu ćeliju, imena FCX Clarity. Dometa 386 km i maksimalne brzine od 161 km/h, raspolaže svim udobnostima standardnog sedana. Koristeći isključivo vodik kao gorivo, ne treba niti benzin niti električno punjenje. Međutim, kako infrastruktura za vodik još uvijek ne postoji, u SAD-u je dostupan u najam samo u Južnoj Kaliforniji. Honda također oglašava i sportsku verziju istog auta pod imenom FC Sport.

A tada, 2009., General Motors isplivavši iz bankrota, i nakon što je cijeli bivši menadžerski tim otpušten, najavljuje da je njegov auto na gorivu ćeliju, Chevy Eqinox, prošao test milijunte milje. Proteklih dvadeset i pet mjeseci 5000 ljudi testiralo je 100 tih automobila na gorivu ćeliju. Nakon što je kronično bio zaostajao za Japanom u uvođenju tehnologije malih automobila i hibrida, Detroit nastoji pronaći uporište u budućnosti.

Površno gledano, vodikov auto je savršen auto. Pokretan je kemijskom reakcijom gorenja vodika u kisiku, što ima za posljedicu proizvodnju električne struje, nakon čega kao jedini nusprodukt ostaje voda. Ne stvara niti miligram smoga. Gotovo je jezovito gledati ispušnu cijev tog auta. Umjesto zagušljivih i otrovnih ispušnih plinova, jedino što izlazi iz njegove cijevi jesu bezbojne i bezmirisne kapljice vode.

"Stavite li ruku ispred ispušne cijevi, jedino što ćete osjetiti jest voda. Tako osvježavajuće iskustvo", opaža Mike Schwabl, koji je testirao Eqinox deset dana.

Tehnologija gorive ćelije nije ništa novo. Osnovno načelo pokazano je još 1839. godine. NASA koristi tu tehnologiju za pogon instrumenata u svemiru već desetljećima. Što jest novost, odlučnost je proizvođača automobila da povećaju proizvodnju i smanje troškove.

Problem s kojim se ta tehnologija suočava, međutim, isti je onaj s kojim se borio Henry Ford kad je reklamirao Model T. Kritičari su tvrdili da je benzin opasan, da će ljudi umirati u strašnim nesrećama, spaljeni živi u sudaru. Također, svaka četvrt morala bi imati po benzinsku crpku. U svemu tome kritičari su bili u pravu. Ljudi umiru na tisuće svake godine u užasavajućim nesrećama, a crpke doista možemo vidjeti posvuda. No pogodnosti i korisnost automobila toliko je velika da su ljudi spremni zanemariti te činjenice.

Sada se iste primjedbe stavljaju na račun vodikovog auta. Vodik je lako hlapljiv i eksplozivan, a crpke bi se morale nalaziti posvuda. Vrlo je vjerojatno da su kritičari opet u pravu. No jednom kad infrastruktura bude na mjestu, ljudi će tako srdačno pozdraviti automobil koji uopće ne onečišćuje okoliš da će sve sumnje ostati u pozadini. Dan-danas jedva je 70 stanica za punjenje vodikom u cijelom SAD-u. Kako gorive ćelije mogu izdržati do oko 300 km bez ponovljenog punjenja, vozač mora pomno motriti kazaljku na mjeraču goriva. No i to će se postupno promijeniti, osobito ako cijena automobila padne s povećanjem proizvodnje i napretkom tehnologije.

Osnovni je problem, međutim, s električnim autom, da baterija ne stvara energiju ni iz čega. Ponajprije, bateriju valja puniti, a ta energija obično dolazi iz termoelektrana. Tako da, iako je električni auto posve neškodljiv po okoliš, energijski izvor koji ga pokreće u konačnici jesu fosilna goriva.

Vodik nije proizvođač energije, prije je prenositelj. Valja prvo dobiti vodik. Primjerice, treba utrošiti električne energije ne bi li se voda disocirala na vodik i kisik. Tako da, iako električni i vodikov auto obećavaju budućnost bez smoga, još uvijek ostaje činjenica da energija koju koriste dolazi većinom od fosilnih goriva. U konačnici se sudaramo s prvim zakonom termodinamike: ukupna količina materije i energije ne može se uništiti kao niti stvoriti ni iz čega. Ne može se dobiti nešto za ništa.

To znači da, kako prelazimo s benzina na električnu energiju, moramo zamijeniti i termoelektrane posve novim oblikom energije.

FISIJA

Jedna od mogućnosti da se oslobodi energija, umjesto tek da se prenese s jednog mjesta na drugo, jest i cijepanjem uranijeva atoma. Prednost je što nuklearke ne oslobađaju goleme količine stakleničkih plinova, poput termoelektrana, no tehnički i politički problemi desetljećima su sputavali puno iskorištavanje nuklearne energije. Posljednja nuklearna elektrana u SAD-u

izgrađena je 1977., prije sudbonosne nesreće u elektrani Otok tri milje, koja je onemogućila dalji komercijalni razvoj nuklearne energije. Užasavajuća nesreća 1986. u Černobilu zapečatila je sudbinu nuklearne energije za cijelo pokoljenje. Projekti novih nuklearnih elektrana zamrli su u SAD-u i Europi, tek su donekle bili održavani na životu u Francuskoj, Japanu i Rusiji i to izdašnim potporama vlada tih zemalja.

Problem je s nuklearnom energijom što se pri cijepanju uranijeva atoma proizvede i golema količina nuklearnog otpada koji je radioaktivan još tisućama pa i desecima milijuna godina. Tipičan reaktor od 1000 megavata proizvede oko 30 tona visoko radioaktivnog otpada u godinu dana. Toliko radioaktivnog da doslovno isijava u mraku te mora biti skladišten u posebne spremnike u hlađenim bazenima. Od otprilike 100 komercijalnih reaktora u SAD-u nastaju godišnje tisuće tona visoko radioaktivnog otpada.

Taj otpad stvara probleme iz sljedeća dva razloga. Ponajprije, ostaje ugrijan i nakon što se reaktor ugasi. Ako se rashladni mehanizam slučajno isključi, kao što se zbilo kod Otoka tri milje, jezgra se istopi. Ukoliko tako rastaljeni metal dođe u doticaj s vodom, može izbiti eksplozija pare koja razara reaktor i izbacuje tone radioaktivne prašine u zrak. U najgorem slučaju za nuklearnu katastrofu klase 9, nužno je evakuirati možda i milijune ljudi od 16 do 80 km od reaktora. Reaktor Indian Point svega je 39 km sjeverno od New Yorka. Jedna Vladina studija procijenila je štetu na nekretninama nakon nesreće u reaktoru Indian Point na čak više stotina milijardi dolara. Reaktoru na Otoku tri milje nedostajale su minute da izazove katastrofu koja bi onesposobila cijeli sjeveroistok. Propast je jedva izbjegnuta nakon što su radnici osposobili rashladni mehanizam koji je sasuo vodu u jezgru reaktora ni trideset minuta prije nego što bi bila dostignuta točka taljenja uranijeva dioksida.

U Černobilu, pokraj Kijeva, prilike su bile mnogo gore. Zaštitni mehanizam (kontrolne šipke) radnici su ručno onesposobili. Izbio je manji strujni udar koji je izbacio reaktor izvan kontrole. Kad se hladna voda iznenada sudarila s rastaljenim metalom, izbila je eksplozija pare koja je razorila cijeli krov reaktora, izbacivši dobar dio jezgre u zrak. Mnogi od radnika poslanih u hitnu akciju naposljetku su umrli u strašnim mukama od radijacijskih opeklina. Uz vatru iz reaktora koja je plamsala izvan kontrole, u konačnici je pozvano i zrakoplovstvo Crvene armije. Helikopteri s posebnim štitovima poslani su da prosipaju bornu vodu na gorući reaktor. Naposljetku, jezgra je zabetonirana. I dan-danas jezgra je nestabilna i proizvodi toplinu i zračenje.

Uz probleme rastaljivanja jezgre i eksplozija, tu je još i dodatni problem zbrinjavanja otpada. Gdje ga odložiti? Kako god neugodno zvučalo, i nakon 50 godina atomske ere, još uvijek nema odgovora. U prošlosti se dogodio čitav niz vrlo skupo plaćenih pogrješaka kad je riječ o trajnom odlaganju otpada. Isprva su SAD i Rusija nešto otpada jednostavno bacile u oceane, ili zakopale u plitke jame. U gorju Ural jedno je odlagalište plutonija čak i katastrofalno eksplodiralo 1957. godine, prouzročivši masovnu evakuaciju i radiološku ugrozu na površini od 1000 km2 između Sverdlovska i Čeljabinska.

Izvorno, 1970-ih, SAD je pokušao ukopati visoko radioaktivni otpad u Lyonu, u Kansasu, u rudnicima soli. No kasnije je otkriveno da su rudnici soli neupotrebljivi budući da su ih tragači za naftom i plinom već izbušili na mnogim mjestima. SAD je bio prisiljen zatvoriti odlagalište u Lyonsu – neugodna smetnja.

U narednih 25 godina, SAD je potrošio 9 milijardi na studije i izgradnju gigantskog odlagališnog centra Yucca Mountain u Nevadi, koji je predsjednik Barrack Obama opozvao 2009. godine Geolozi su posvjedočili da centar Yucca Mountain možda ipak ne bi uspio zadržati nuklearni otpad narednih 10 000 godina. Yucca Mountain nikad neće biti otvoren, ostavljajući

tako komercijalne operatere nuklearnih elektrana bez trajnog odlagališta.

Trenutno je budućnost nuklearne energije nesigurna. Wall Street ostaje plahovit pri ulaganju nekoliko milijardi dolara u svaku narednu nuklearnu elektranu. No industrija tvrdi da su elektrane nove generacije sigurnije od prijašnjih. Odjel za energiju u međuvremenu drži sve mogućnosti otvorenima.

NUKLEARNA PROLIFERACIJA

No s velikom moći dolazi i velika opasnost. U nordijskoj mitologiji, primjerice, Vikinzi su štovali Odina, koji je upravljao Asgardom mudro i pravedno. Odin je predsjedao legijom bogova, uključujući herojskog Tora, čiji su čast i valjanost najštovanije vrline ratnika. No bio je tu i bog Loki, bog podvale, koji je bio obuzet ljubomorom i mržnjom. On je uvijek nešto smjerao, ističući se kao majstor obmane i podvale. Naposljetku se Loki udružio s divovima ne bi li zametnuo konačnu bitku između svjetlosti i tame, epsku bitku Ragnarok, sumrak bogova.

Problem današnjice je da ljubomore i mržnje među narodima mogu pokrenuti nuklearni Ragnarok. Povijest je pokazala, da ukoliko narod ovlada komercijalnom tehnologijom, može i, ako postoji takva želja i politička volja, učiniti iskorak prema nuklearnom naoružanju. Opasnost je od proliferacije nuklearnog oružja u nekim od najnestabilnijih regija svijeta.

Tijekom Drugog svjetskog rata samo su najveći narodi svijeta posjedovali resurse, znanje i sposobnost da stvore atomsku bombu. Međutim, ubuduće bi taj prag moglo biti lakše prijeći zahvaljujući opadanju cijene obogaćenog uranija, uslijed uvođenja novih tehnologija. To je opasnost s kojom se suočavamo: nove i jeftinije tehnologije mogle bi podariti atomsku bombu u nesigurne ruke.

Ključ u proizvodnji atomske bombe jest osigurati znatnu količinu uranijeve rudače koju onda valja pročistiti. To znači odvajanje uranija 238 (koji čini 99,3 posto prirodnog uranija) od uranija 235, koji je pogodan za atomsku bombu, ali čini svega 0,7 posto rudače. Ta su dva izotopa kemijski identična, što znači da je jedini način da se pouzdano razdvoje iskoristiti činjenicu da uranij 235 teži otprilike 1 posto manje od svog rođaka.

Tijekom Drugog svjetskog rata jedini postupak odjeljivanja bio je mukotrpnom plinskom difuzijom: uranij je pretvoren u plinoviti uranijev heksafluorid koji je potom bio propušten kroz sustav stotinama kilometara dugih cijevi i opna. Na kraju toga dugog putovanja, brži (odnosno lakši) uranij 235 dobio je utrku, ostavljajući teži uranij 238 za sobom. Nakon što je plin koji je sadržavao uranij 235 bio ekstrahiran, postupak je ponavljan sve dok se razina obogaćenosti uranijem 235 nije podigla s 0,7 na 90 posto, što je uranij pogodan za bombu. No za tjerati plin bila je potrebna golema količina električne energije. Tijekom rata značajan postotak ukupne proizvodnje električne energije u SAD-u bio je usmjeren u Nacionalni laboratorij u Oak Ridgeu u tu svrhu. Postrojenje za obogaćivanje uranija bilo je gigantsko, zauzimajući 200 000 m2 i zapošljavajući 12 000 radnika.

Nakon rata, samo su supersile SAD i Sovjetski Savez mogle nagomilati nuklearne arsenale, do 30 000 po državi, jer su ovladale umijećem plinske difuzije. No danas tek 33 posto svjetske proizvodnje obogaćenog uranija potječe od plinske difuzije.

Postrojenja za obogaćivanje druge generacije koriste sofisticiraniju i jeftiniju tehnologiju: ultracentrifuge, što je imalo za posljedicu dramatičan pomak u svjetskoj politici. Ultracentrifuge

mogu zavrtjeti kapsulu koja sadrži uranij do 100 000 okretaja u minuti. To je dovoljno da se iskoristi razlika od 1 posto u masi između uranija 235 i 238. Naposljetku, uranij 238 potone na dno. Nakon mnogo okretaja uranij 235 pokupi se s vrha kapsule.

Ultracentrifuge su 50 puta energijski učinkovitije nego plinovita difuzija. Otprilike 54 posto svjetskog uranija pročišćeno je na taj način.

Pomoću tehnologije ultracentrifuga, potrebno je da svega 1000 ultracentrifuga bez prestanka bude u pogonu godinu dana ne bi li se proizvela količina obogaćenog uranija za jednu atomsku bombu. Tehnologiju ultracentrifuga lako je ukrasti. Pri jednoj od najgorih provala nuklearnih protokola u povijesti, nepoznati inženjer A. Q. Kahn uspio je ukrasti nacrte ultracentrifuge i komponenata atomske bombe i dobro zaraditi na njima. Dok je 1975. radio u Amsterdamu za URENCO, organizaciju koju su utemeljili Britanija, Zapadna Njemačka i Nizozemska u svrhu opskrbe europskih reaktora uranijem, dao je tajne nacrte vladi Pakistana, koja ga je proglasila narodnim herojem. Također je sumnjičen za prodaju istih nacrta Saddamu Husseinu, vladama Irana, Sjeverne Koreje i Libije.

Koristeći ukradenu tehnologiju, Pakistan je uspio nagomilati omanji arsenal nuklearnog oružja te je počeo s testiranjem 1998. godine. Nuklearno suparništvo koje je ishodilo između Indije i Pakistana, od kojih je zemalja svaka detonirala niz atomskih bombi, umalo da nije imalo za posljedicu nuklearni sukob između ta dva suparnička naroda.

Možda upravo zbog tehnologije otkupljene od A. Q. Kahna, Iran je prema izvještajima ubrzao svoj nuklearni program, izgrađujući 8000 ultracentrifuga do 2010. s namjerom izgradnje još 30 000.To je stavilo pritisak na druge zemlje Bliskog istoka da stvaraju vlastite atomske bombe, tako produbljujući nestabilnost.

Drugi razlog uslijed kojeg će geopolitika dvadesetprvog stoljeća možda biti promijenjena, jest u narednoj generaciji tehnologije obogaćivanja – laserskom obogaćivanju – koja će uskoro biti dostupna i još jeftinija od ultracentrifuga.

Ukoliko ispitate elektronske ljuske dvaju izotopa uranija, one su naizgled iste, budući da jezgra ima isti naboj. No ukoliko se analiziraju pomno jednadžbe elektronskih ljuski, nalazi se da postoji neznatna razlika u energiji ljusaka uranija 235 i 238. Obasjavši smjesu izotopa vrlo precizno ugođenom laserskom zrakom, moguće je izbaciti elektrone iz ljuske uranija 235, ali ne i uranija 238. Jednom kad su atomi uranija 235 ionizirani, lako ih je odvojiti od atoma uranija 238 električnim poljem.

No razlika u energiji je tako mala, da mnogi narodi koji su ju pokušali iskoristiti nisu uspjeli. 1980-ih i 1990-ih SAD, Francuska, Britanija, Njemačka, Južnoafrička Republika i Japan pokušali su ovladati tom zahtjevnom tehnologijom i nisu uspjeli. U SAD jedan je pokušaj uključivao 500 znanstvenika i 2 milijarde dolara.

No 2006. australski znanstvenici ne samo da su objavili uspjeh, već i da namjeravaju izaći na tržište. Kako 30 posto troškova za uranijevo gorivo otpada na proces obogaćivanja, australska tvrtka Silex smatra kako postoji tržište za navedenu tehnologiju. Silex je čak potpisao ugovor s tvrtkom General Electric o plasiranju na tržište. Nadaju se da bi u konačnici mogli proizvoditi i do trećinu svjetskog uranija koristeći svoju metodu. GE Hitachi Nuclear Energy objavila je 2008. planove o izgradnji prvog komercijalnog postrojenja za lasersko obogaćivanje uranija u Wilmingtonu, Sjeverna Karolina, do 2012. godine. Postrojenje bi obuhvatilo 20 000 m2 zemljišta od ukupno 160 000 m2.

Za industriju nuklearne energije, to je dobra vijest, s obzirom da to znači rušenje cijene obogaćivanja uranija u narednih nekoliko godina. Međutim, drugi su zabrinuti jer je tek pitanje vremena kad će se ta tehnologija presaditi u nestabilne dijelove svijeta. Drugim riječima, imamo mogućnost potpisati sporazume o ograničenju i reguliranju toka obogaćenog uranija. Ukoliko ne budemo upravljali ovom tehnologijom, bombe će se nastaviti množiti, i možda i dospjeti u ruke terorista.

Jedan od mojih poznanika bio je i pokojni Theodore Taylor, koji je imao rijetku priliku dizajnirati neke od najvećih, kao i najmanjih nuklearnih bojnih glava za Pentagon. Jedan od njegovih dizajna bio je i Davy Crocket, težak svega 23 kg, ali sposoban baciti omanju atomsku bombu na neprijatelja. Taylor je bio takav glasnogovornik nuklearnih bombi, da je bio suradnikom na projektu Orion, kojemu je za cilj bio uporaba nuklearnih bombi kao pokretača svemirskih brodova na putu do obližnjih zvijezda. Proračunao je da bi se uzastopnim izbacivanjem nuklearnih bombi s kraja broda mogao proizvesti takav udarni val koji bi ubrzao svemirski brod do vrlo blizu brzine svjetlosti.

Pitao sam ga jednom kako se razočarao u nuklearne bombe i okrenuo solarnoj energiji. Povjerio mi je da ga je progonila noćna mora. Njegov rad na nuklearnom oružju, osjećao je, vodio je jednom cilju: proizvodnji treće generacije nuklearnih bojevih glava. (Bojeve glave prve generacije 1950-ih bile su teške i nespretne za prenošenje do mete. Bojeve glave druge generacije 1970-ih bile su male, kompaktne, i deset ih je moglo stati u nos projektila. Ali bombe treće generacije bile bi “dizajnerske bombe”, posebno prilagođene različitoj okolini, primjerice šumi, pustinji, čak svemirskom prostoru.) Jedna od tih bombi treće generacije je minijaturna atomska bomba, tako mala da bi ju terorist mogao nositi u aktovci i iskoristiti da uništi cijeli grad. Zamisao da bi njegovo životno djelo moglo biti zloupotrijebljeno od strane terorista progonila ga je ostatak života.

SREDINA STOLJEĆA (2030. DO 2070.)

GLOBALNO ZATOPLJENJE

Do polovice stoljeća učinak ekonomije temeljene na fosilnim gorivima trebao bi biti očit: globalno zatopljenje. Nedvojbeno je da se Zemlja zagrijava. Tijekom prošlog stoljeća temperatura Zemlje porasla je za 0,7°C i nastavlja ubrzano rasti. Znakovi su nedvosmisleni gdje god pogledamo:

- Debljina se arktičkog leda smanjila za zaprepašćujućih 50 posto u svega proteklih 50 godina. Mnogo tog leda je na temperaturi tek neznatno ispod ledišta, plivajući na vodi. Dakle, vrlo je osjetljivo na sitna kolebanja u temperaturi oceana, djelujući kao kanarinac u rudniku, rani znak upozorenja. Danas dijelovi sjevernih polarnih ledenih kapa nestaju tijekom ljetnih mjeseci, a mogli bi nestati u potpunosti tokom ljeta već 2015. Polarna ledena kapa mogla bi nestati trajno do kraja stoljeća, promijenivši svjetsku klimu, okrenuvši tijek oceana i zračnih struja oko planeta.

- Slojevi grenlandskog leda stisnuli su se za 62 km^2 2007. Broj je narastao na 184 km^2 2008. (Ukoliko bi se grenlandski led nekako u cijelosti otopio, razine svjetskih mora bi se digle za 6 m.)

- Veliki komadi antarktičkog leda, koji su bili postojani desecima tisuća godina, postupno se odvajaju. Komad veličine Connecticuta odvojio se 2000. godine, sadržavajući 11 000 km^2 leda. Komad leda veličine Rhode Islanda odvojio se 2002. od ledenjaka Thwaites. (Ukoliko bi se antarktički led u cijelosti otopio, razine svjetskih mora bi se digle za 55 m.)

- Svaki metar za koji se razina oceana digne znači 100 metara dodatne širine oceana. Tijekom prošlog stoljeća razine svjetskih mora su se podigle za 20 cm, čega je uzrok većinom bila ekspanzija morske vode pri zagrijavanju. Prema Ujedinjenim narodima, razine svjetskih mora mogle bi se podignuti za još između 18 i 58 cm do 2100. Neki znanstvenici su ustvrdili da je UN-ov izvještaj bio preoprezan pri tumačenju podataka. Prema znanstvenicima s Instituta za arktička i alpska istraživanja Sveučilišta u Coloradu, razina mora mogla bi porasti između 91 i 183 cm. Tako da bi se postupno karta zemaljskih obala promijenila.

- Temperatura se pouzdano mjeri od kasnih 1700-tih; 1995., 2005. i 2010. među najtoplijim su godinama ikad zabilježenim; desetljeće između 2000. i 2009. najtoplije je zabilježeno desetljeće. Jednako tako, razine ugljikovog dioksida dramatično rastu. Na najvišoj su razini u posljednjih 100 000 godina.

- Kako se Zemlja zagrijava, tropske se bolesti šire prema sjeveru. Nedavna epidemija virusa sa zapadnog Nila prenošenog komarcima možebitni je znamen nadolazećih pošasti. UN-ovi su dužnosnici osobito zabrinuti zbog širenja malarije prema sjeveru. Obično jajašca mnogih štetnih kukaca uginu svake zime kad se tlo smrzne. No s kraćom zimom, pošast će se nezaustavljivo širiti na sjever.

UGLJIKOV DIOKSID – STAKLENIČKI PLIN

Prema UN-ovoj Međuvladinoj tribini o klimatskim promjenama, znanstvenici su zaključili s pouzdanošću od 90 posto da je globalno zatopljenje posljedica ljudske aktivnosti, osobito proizvodnje ugljikovog dioksida pri izgaranju fosilnih goriva. Sučeva svjetlost lako prolazi kroz ugljikov dioksid. No kako Sunčeva svjetlost zagrijava Zemlju, proizvodi infracrveno zračenje, koje više ne prolazi natrag tako lako kroz ugljikov dioksid. Energija Sunčeve svjetlosti ne može pobjeći natrag u svemir i ostaje zarobljena.

Sličan učinak opažamo u staklenicima ili automobilima. Sunčeva svjetlost zagrijava zrak koji ne može izaći zbog stakla.

Sveukupno, količina proizvedenog ugljikovog dioksida eksponencijalno je rasla, osobito tijekom prošlog stoljeća. Prije industrijske revolucije količina ugljikovog dioksida u zraku bila je 270 dijelova u milijun (ppm). Danas je porasla do 387 ppm. (Svijet je 1900. trošio 150 milijuna barela nafte. To je 2000. skočilo na 28 milijardi barela, skok od 185 puta. 9,4 milijarde tona ugljikovog dioksida 2008. poslano je u atmosferu od izgorjelih fosilnih goriva, ali i šume, a svega 5 milijardi tona bilo je reciklirano u oceane, tlo ili vegetaciju. Ostatak će ostati u zraku desetljećima, zagrijavajući Zemlju.)

POSJET ISLANDU

Porast temperature nije slučajnost, kako možemo doznati analizirajući duboki led polova. Bušeći duboko u drevnom ledu Arktika, znanstvenici su uspjeli ekstrahirati mjehuriće zraka stare tisućama godina. Kemijski analizirajući zrak u tim mjehurićima, znanstvenici mogu odrediti temperaturu i količinu ugljikovog dioksida u atmosferi i do 600 000 godina u prošlost. Uskoro će biti u stanju odrediti i vremenske uvjete prije milijun godina.

Imao sam prilike taj postupak vidjeti uživo. Prilikom jednog predavanja koje sam držao u Reykjaviku, prijestolnici Islanda, bio sam povlašten posjetiti Sveučilište u Islandu, gdje se analizira duboki led. Kad vaš avion sleti u Reykjavik, isprva je jedino što vidite snijeg i nazubljene stijene, nalik na tmurni Mjesečev krajolik. I premda pust i prijeteći, arktički krajolik je idealno mjesto za analizu Zemljine klime od prije stotina tisuća godina.

Dok sam bio u posjetu njihovom laboratoriju, koji je održavan na temperaturi smrzavanja, morao sam proći kroz debela vrata hladnjaka. Unutra sam mogao vidjeti police i police s dugim metalnim cijevima, svaka otprilike 4 cm u promjeru i 3 m duga. Svaka je šuplja cijev bila uvrtana duboko u led ledenjaka. Kako je cijev prodirala u led, zahvaćala je uzorke snjegova palih prije mnogo tisuća godina. Kad su cijevi ispražnjene, mogao sam pomno promotriti ledene sadržaje svake. Isprva je jedino što sam mogao vidjeti bio dug stupac bijelog leda. No nakon pomnijeg ispitivanja mogao sam uočiti da je led isprugan vrpcama raznih boja.

Znanstvenici moraju koristiti različite metode kako bi ih datirali. Neki od slojeva leda sadržavaju markere koji upućuju na važna zbivanja, poput izbačaja pepela u nekoj od erupcija vulkana. Kako su datumi erupcija vulkana poznati s velikom točnošću, to je znanje moguće iskoristiti ne bi li se odredila starost takvog sloja.

Ti su stupci leda potom izrezani u različite komade kako bi mogli biti ispitani. Kad sam pogledao jedan tanko odrezani komad kroz mikroskop, mogao sam zamijetiti sitne, mikroskopske mjehuriće. Protrnuo sam od pomisli da gledam zrak zarobljen prije nekoliko desetaka tisuća godina, i prije postanka ljudske civilizacije.

Količina ugljikovog dioksida unutar pojedinog mjehurića lako se odredi. No izračunati temperaturu zraka kad je led izvorno nastao mnogo je teže. (Kako bi to učinili, znanstvenici analiziraju vodu iz mjehurića. Molekule vode mogu sadržavati različite izotope. Kako temperatura pada, molekule koje sadrže teže izotope kondenziraju se brže od obične vode. Dakle, moguće je iz mjerenja količine težih izotopa izračunati temperaturu pri kojoj su se molekule vode kondenzirale.)

Napokon, nakon mukotrpne analize sadržaja tisuća ledenih uzoraka, znanstvenici su došli do nekih značajnih zaključaka. Otkrili su da su temperatura i količina ugljikovog dioksida usporedno oscilirali, poput dva vlaka strave koja su vozila skupa, sinkronizirana tisućama godina. Kad se jedna krivulja uspinje ili pada, onda tako čini i druga.

Najvažnije, pronašli su iznenadni šiljak u temperaturi i količini ugljikova dioksida upravo u prošlom stoljeću. To je krajnje neobično, s obzirom da se većina kolebanja zbiva polako tijekom tisućljeća. Taj neobični šiljak nije dio uobičajenog prirodnog procesa zagrijavanja, tvrde znanstvenici, već je izravni pokazatelj ljudske aktivnosti.

Ima i drugih načina da se pokaže da je taj iznenadni šiljak posljedica ljudske aktivnosti, a ne prirodnih ciklusa. Računalne simulacije su već tako napredne da je moguće simulirati temperaturu Zemlje uz i bez prisutnosti ljudske aktivnosti. Bez da civilizacija proizvodi ugljikov dioksid, nalazimo relativno izravnanu temperaturnu krivulju. No uz dodatak ljudske aktivnosti, možemo

pokazati prisutnost iznenadnog šiljka na krivuljama temperature i količine ugljikovog dioksida. Predviđeni šiljak pristaje savršeno uz opaženi.

Napokon, moguće je izmjeriti količinu Sunčeve svjetlosti po četvornom metru Zemljine površine. Znanstvenici mogu izračunati količinu topline koja je izračena u svemir sa Zemlje. Uobičajeno je pretpostaviti da su dvije količine jednake, s ulaznim podatkom jednakim izlaznom. No u zbilji nalazimo konačan iznos kao prevagu u količini topline koja zagrijava Zemlju. A kad izračunamo količinu energije kao posljedicu ljudske aktivnosti, nalazimo savršeno slaganje. Dakle, ljudska aktivnost je uzrokom trenutnog zagrijavanja Zemlje.

Nažalost, čak i kada bismo odmah potpuno obustavili dalje ispuštanje ugljikovog dioksida u atmosferu, plin koji je već ispušten u atmosferu u dovoljnim je količinama da nastavi globalno zagrijavanje u nadolazećim desetljećima.

Kao posljedica, prilike sredinom stoljeća mogle bi biti stravične.

Znanstvenici su konstruirali slike mogućeg izgleda naših obalnih gradova do sredine stoljeća i nakon, ukoliko se nastavi dizati razina mora. Obalni gradovi mogli bi nestati. Veliki dijelovi Manhattana mogli bi biti evakuirani, dok bi se Wall Street našao pod vodom. Vlade će morati odlučiti koje se od velikih gradova i prijestolnica isplati spašavati, a za koje više nema nade. Neki bi se gradovi mogli spasiti izgradnjom složenih nasipa i brana. Drugi bi mogli biti proglašeni beznadnim i prepušteni oceanu, što bi imalo za posljedicu masovne migracije stanovništva. Kako je većina najnaseljenijih i tržišnih centara upravo uz ocean, to bi moglo imati katastrofalan učinak na svjetsko gospodarstvo.

Čak i ako bi neke gradove bilo moguće spasiti, ostala bi opasnost od velikih oluja koje bi mogle potaknuti plimne valove u gradove, paralizirajući im infrastrukturu. Primjerice, 1992. velika oluja je potopila Manhattan, paralizirajući podzemnu željeznicu i vlakove za New Jersey. S potopljenim prometnim sustavom, gospodarski pogon staje.

POTAPANJE BANGLADEŠA I VIJETNAMA

Izvještaj Međuvladine tribine za klimatske promjene naglašava tri kritične točke potencijalne katastrofe: Bangladeš, deltu Mekonga u Vijetnamu i deltu Nila u Egiptu.

Najgore je s Bangladešom, zemljom redovito poplavljivanom u olujama čak i bez utjecaja globalnog zatopljenja. Većina je zemlje ravna i u razini mora. I premda je došlo do stanovitog razvoja u posljednjih nekoliko desetljeća, to je još uvijek jedan od najsiromašnijih naroda na Zemlji, i među onima s najvećom gustoćom naseljenosti. (Populacija je Bangladeša 161 milijun stanovnika, usporediva s onom Rusije, ali na 1/120 kopnene površine Rusije.) Oko 50 posto kopnene površine bit će trajno potopljeno ukoliko razina mora poraste za 91 cm. Prirodne se katastrofe tamo zbivaju gotovo svake godine, no u rujnu 1998. svijet je s užasom svjedočio uvodu u ono što bi moglo postati općim mjestom. Nepojmljive poplave potopile su dvije trećine naroda, ostavljajući 30 milijuna beskućnika gotovo preko noći; tisuću je poginulo, a 10 000 km cesta je uništeno. To je bila jedna od najgorih prirodnih katastrofa u modernoj povijesti.

Još jedna zemlja koja bi bila upropaštena podizanjem razine mora je Vijetnam, gdje je delta Mekonga iznimno osjetljiva. Do sredine stoljeća ta bi se zemlja od 87 milijuna stanovnika mogla suočiti s kolapsom glavne poljoprivredne regije. Polovina riže u Vijetnamu uzgaja se u delti Mekonga, domu 17 milijuna ljudi, veći dio koje bi bio trajno poplavljen podizanjem razine mora.

Prema Svjetskoj banci, 11 posto cjelokupne populacije zahvatile bi migracije ukoliko bi se podigla razina mora za 91 cm do sredine stoljeća. Delta Mekonga bila bi poplavljena slanom vodom, što bi trajno upropastilo plodno tlo regije. Ukoliko bi milijuni bili suočeni s poplavom, mnogi bi potražili utočište u Ho Chi Minhu. No četvrtina tog grada bila bi također pod vodom.

Pentagon je 2003. naručio studiju od Global Business Networka, koja je pokazala da bi se, u najgorem scenariju, kaos proširio svijetom kao posljedica globalnog zatopljenja. Pri prijelazima milijuna izbjeglica preko nacionalnih granica, vlade bi izgubile autoritet i morale odstupiti, tako da bi zemlje utonule u noćnu moru pljačkanja, pobuna i kaosa. U takvoj očajničkoj situaciji, narodi bi mogli, suočeni s mogućim ulaskom milijuna očajnika, pribjeći i nuklearnom oružju.

"Predočite si Pakistan, Indiju i Kinu – svaku zemlju naoružanu nuklearnim oružjem – čarkajući se oko izbjeglica, pristupa zajedničkim rijekama i obradivoj zemlji", stajalo je u izvještaju. Peter Schwartz, osnivač Global Business Network i glavni autor pentagonske studije, povjerio mi je detalje scenarija. Kazao je da bi najviše vruća točka bila granica između Indije i Bangladeša. Za velike krize u Bangladešu, do 160 milijuna ljudi moglo bi biti istjerano iz svojih domova, pokrenuvši tako jednu od najvećih migracija u ljudskoj povijesti. Tenzije bi mogle brzo porasti kako granice nestaju, lokalne vlade bivaju onemoćale, a masovne pobune izbijaju. Schwartz predviđa kako bi narodi mogli pribjeći u konačnici i nuklearnom oružju.

U najgorem scenariju, mogli bismo imati staklenički učinak koji se sam pogoni. Primjerice, otapanje leda u arktičkim tundrama moglo bi osloboditi milijune tona metana iz trulog bilja. Tundra pokriva gotovo 23 milijuna km2 sjeverne hemisfere i sadrži vegetaciju smrznutu još u vrijeme posljednjeg ledenog doba od prije deset tisuća godina. Tundra sadrži više metana i ugljikovog dioksida nego cijela atmosfera, što predstavlja ogromnu prijetnju svjetskoj klimi. Metan je k tomu još i mnogo smrtonosniji staklenički plin od ugljikovog dioksida. Ne ostaje u atmosferi tako dugo kao ugljikov dioksid, ali čini mnogo više štete. Oslobađanje tolike količine metana iz tundre moglo bi uzrokovati brzi porast temperature, što bi uzrokovalo oslobađanje još više metana, posljedica čega bi bio začarani krug globalnog zatopljenja.

TEHNIČKA RJEŠENJA

Prilike su stravične, no još uvijek nismo dosegli točku bez povratka. Problem kontrole stakleničkih plinova većinom je ekonomski i politički, a ne tehnički. Proizvodnja ugljikovog dioksida koincidira s ekonomskom djelatnošću, dakle bogatstvom. Primjerice, SAD proizvodi 25 posto svjetskog ugljikovog dioksida. To je stoga što SAD sudjeluje s ugrubo 25 posto u svjetskoj ekonomskoj djelatnosti. A 2009. Kina je preuzela vodstvo od SAD-a u proizvodnji stakleničkih plinova, većinom uslijed eksplozivnog razvoja vlastitog gospodarstva. To je onda i temeljni razlog oklijevanju naroda da se obračunaju s globalnim zatopljenjem: što takva akcija interferira s ekonomskom djelatnošću i blagostanjem.

Razne su sheme razvijene ne bi li se obračunalo s tom globalnom krizom, no nikakvo kratkoročno rješenje neće dostajati. Tek prekretnički korak u načinu potrošnje energije može riješiti problem. Neke tehničke mjere su bile zagovarane od ozbiljnih znanstvenika, no niti jedna nije zadobila širu potporu. Prijedlozi uključuju:

- **Lansiranje zagađivača u atmosferu**. Prijedlog je poslati rakete u gornje slojeve atmosfere, gdje bi oslobodile zagađivače poput sumporovog dioksida, kako bi reflektirali Sunčevu svjetlost, hladeći tako Zemlju. U stvari, nobelovac Paul Krutzen je zagovarao izbacivanje

zagađivača u svemirski prostor kao "polugu sudnjega dana", koja bi omogućila konačni koridor spasa čovječanstvu da izbjegne globalno zatopljenje. Toj je zamisli korijen 1991., kad su znanstvenici pomno promatrali vulkansku eksploziju na Mount Pinatubo na Filipinima, koja je podigla 10 milijardi tona zemlje i prašine u gornje slojeve atmosfere. To je zamračilo nebo i uzrokovalo prosječni pad temperature diljem planeta za 0,6 °C. To je omogućilo izračun koliko bi zagađivača bilo potrebno da se smanji svjetska temperatura. Iako je to ozbiljan prijedlog, neki kritičari sumnjaju da bi samo za sebe riješilo problem. Malo se zna o tome kako bi velika količina zagađivača utjecala na svjetsku temperaturu. Možda bi korist bila kratkoročna, ili bi neželjene nuspojave bile i gore negoli izvorni problem. Primjerice, nakon erupcije na Mount Pinatubo opažen je globalni pad u isparavanju; slično, ukoliko pokus krene naopako, mogao bi prouzročiti velike suše. Troškovi pokusa na terenu procijenjeni su na 100 milijuna. Kako je učinak sulfatnog aerosola privremen, redovno oslobađanje sulfata u atmosferu koštalo bi minimalno 8 milijardi dolara godišnje.

•

Poticanje cvjetanja algi. Drugi je prijedlog odložiti kemikalije bogate željezom u oceane. Ti bi mineralni nutrijenti omogućili brzo razmnožavanje algi, što bi zauzvrat povećalo količinu ugljikovog dioksida koji bi alge apsorbirale. Međutim, nakon što je Planktos, tvrtka iz Kalifornije, objavila svoju odluku da samovoljno obogati dio južnog Atlantika željezom – u nadi poticanja rasta planktona koji bi apsorbirao ugljikov dioksid iz zraka – zemlje potpisnice Londonske konvencije, koja regulira odlaganje tvari u more, izrazile su svoju zabrinutost oko takvog čina. Također, skupina UN-a izdala je privremeni moratorij na takve pokuse. Pokus je okončan nakon što je Planktos ostao bez sredstava.

•

Sekvestracija ugljika. Naredna je mogućnost iskoristiti sekvestraciju ugljika, postupak kojim se ugljikov dioksid ispušten iz termoelektrana ukapljuje i potom uklanja iz okoliša po mogućnosti ukapanjem ispod zemlje. Premda bi u načelu mogao uspjeti, postupak je vrlo skup i ne može poslužiti pri uklanjanju u atmosferu već ispuštenog ugljikovog dioksida. Inženjeri su 2009. pomno promatrali prvi veliki pokus sekvestracije ugljika. Velika elektrana Mountaineer, izgrađena 1980. u Zapadnoj Virginiji, bila je prenamijenjena za odvajanje ugljikovog dioksida iz okoliša, i učinjena tako prvom termoelektranom u SAD-u koja je uz to što je proizvodila struju izvodila pokusnu sekvestraciju. Ukapljeni plin bit će ubrizgan 2,4 km ispod Zemljine površine, naposljetku u sloj dolomita. Tekućina će u konačnici činiti masu 9 – 12 metara visoku i stotine metara dugu. Vlasnik elektrane, American Elektric Power, namjerava ubrizgavati 100 000 tona ugljikova dioksida godišnje u razdoblju od dvije do pet godina. To je svega 1,5 posto elektraninih godišnjih emisija, no u konačnici bi sustav mogao zadržavati do 90 posto emisija. Početni trošak je 73 milijuna dolara. No ukoliko se pokaže uspješnim, model bi mogao brzo biti repliciran na drugim mjestima, poput obližnjih četiriju termoelektrana što proizvode 6 milijardi vata energije (toliko da je po njima cijeli kraj prozvan Dolina megavata). Mnoge su nepoznanice: nije jasno hoće li ugljikov dioksid naposljetku ispariti, ili hoće li plin reagirati s vodom, stvarajući možda ugljičnu kiselinu koja bi mogla zatrovati podzemne vode. Međutim, ukoliko projekt uspije, bit će najizglednije dio kombiniranih tehnologija korištenih u obračunavanju s globalnim zatopljenjem.

•

Genetsko inženjerstvo. Još je jedan prijedlog stvoriti oblike života posebno dizajnirane u svrhu apsorbiranja velikih količina ugljikova dioksida. Jedan od entuzijasta ovim pristupom je J. Craig Venter, koji je stekao slavu i bogatstvo kao pionir brzih tehnika koje su dovele do uspješnog sekvencioniranja ljudskog genoma godinama prije roka. "Promatramo genom kao

softver, ili čak operacijski sustav, stanice", kaže. Njegov je cilj izmijeniti softver, tako da mikrobi mogu biti genetski modificirani, ili čak sastavljeni iz osnovnog materijala, ne bi li apsorbirali ugljikov dioksid iz emisija termoelektrana i pretvorili ga u korisne tvari, poput prirodnog plina. Primjećuje: "Postoji već tisuće, možda milijuni, organizama na našem planetu koji znaju kako se to radi." Trik je u tome da ih se modificira tako da povećaju svoju proizvodnju i prosperiraju u okolišu termoelektrane. "Mislimo da to polje istraživanja posjeduje ogroman potencijal da zamjeni petrokemijsku industriju, po mogućnosti u narednom desetljeću", kazao je optimistično.

Princetonski fizičar Freeman Dyson zagovarao je inačicu istog prijedloga, stvaranje genetski modificiranih stabala koja bi mogla apsorbirati povećano ugljikov dioksid. Ustvrdio je kako bi možda bilijun takvih stabala dostajalo da se upravlja količinom ugljikovog dioksida u zraku. U svom radu "Možemo li kontrolirati količinu ugljikovog dioksida u atmosferi?", zagovara stvaranje "ugljikove banke brzo rastućih stabala", ne bi li se regulirale razine ugljikova dioksida.

Međutim, kao i sa svakim planom da se genetsko inženjerstvo koristi u velikim razmjerima, valja biti svjestan nuspojava. Ne može se povući iz optjecaja oblik života kao što se povuče iz optjecaja defektno vozilo. Jednom kad je pušten u okoliš, genetski modificirani oblik života može stvoriti neželjene posljedice po druge oblike života, osobito ako zamijeni lokalne biljne vrste i poremeti ravnotežu u hranidbenom lancu.

Nažalost, postoji sumnjivo rasprostranjeno pomanjkanje zanimanja među političarima da se pristupi financiranju bilo kojeg od tih planova. Međutim, jednoga će dana globalno zatopljenje postati tako moćno i "remetljivo" da će političari morati primijeniti neke od njih. Kritični period bit će narednih nekoliko desetljeća. Do sredine stoljeća, bit ćemo u eri vodika, kad će nam kombinacija fuzije, solarne energije i "obnovljivaca" dati gospodarstvo koje više neće toliko ovisiti o iskorištavanju fosilnih goriva. Kombinacija tržišnih sila i napredaka u vodikovoj tehnologiji trebala bi nam dati dugoročno rješenje globalnog zatopljenja.

Razdoblje opasnosti je sada, prije no što je vodikova ekonomija počela. Kratkoročno, fosilna goriva su i dalje najjeftiniji način proizvodnje energije, što znači da će globalno zatopljenje predstavljati opasnost još desetljećima.

ENERGIJA FUZIJE

Do sredine stoljeća, otvara se nova mogućnost koja mijenja pravila igre: fuzija. Dotad bi trebala biti najodrživije tehničko rješenje, koje bi moglo nastupiti kao i trajno. Dok se fisija zasniva na cijepanju uranijeva atoma, pri čemu se oslobađa energija (ali i velika količina nuklearnog otpada), fuzija se oslanja na stapanje vodikovih atoma uz dovoljno topline, pri čemu se oslobađa još mnogo više energije (i vrlo malo otpada).

Za razliku od fisije, fuzija oslobađa energiju Sunca. Zakopan duboko u vodikovu atomu izvor je energije svemira. Fuzijska energija daje svjetlost zvijezdama i nebesima. To je tajna zvijezda. Svatko tko može uspješno ovladati fuzijom, oslobodit će nepresušni izvor energije. A gorivo za fuzijske elektrane je obična morska voda. U istom omjeru, fuzija oslobađa 10 milijuna više energije od benzina. Čaša vode od dva decilitra odgovara energiji 500 000 barela petroleja.

Fuzija (a ne fisija) je prirodin izbor energije za pokretanje svemira. Pri oblikovanju zvijezde, kugla obogaćena vodikom postupno biva stisnuta gravitacijom, sve dok se ne zagrije na iznimno visoke temperature. Kad temperatura plina dosegne otprilike 50 milijuna stupnjeva (što ovisi o posebnim uvjetima zvijezde), vodikovi atomi plina su potisnuti jedni prema drugima da bi stvorili helij. Tako se oslobađaju ogromne količine energije, što uzrokuje da se plin upali. (Točnije, kompresija mora zadovoljavati takozvani Lawsonov kriterij, koji kaže koliko dugo i na koju

temperaturu se mora komprimirati određena količina vodikovog plina. Ukoliko su ta tri uvjeta gustoće, temperature i vremena ispunjena, nastupa fuzijska reakcija, bilo da je riječ o vodikovoj bombi, zvijezdi ili fuzijskom reaktoru.)

Dakle, to je ključ: zagrijavanje i kompresija vodikovog plina dok se jezgre ne spoje, oslobodivši pritom kozmičke količine energije.

No, prijašnji pokušaji da se iskoristi ta kozmička snaga propali su. Đavolski je težak zadatak zagrijati vodikov plin na desetke milijuna stupnjeva, dok se protoni ne spoje i ne oslobode goleme količine energije.

Štoviše, javnost je cinična prema tim tvrdnjama, jer svakih dvadeset godina znanstvenici tvrde da je fuzija nadohvat ruke za dvadeset godina. No, nakon desetljeća preoptimističnih tvrdnji, fizičari su u sve većem broju uvjereni da su nadomak fuziji, možda već 2030. U neko vrijeme, oko polovice stoljeća, možda ćemo moći vidjeti fuzijske elektrane raštrkane u okolini.

Javnost ima pravo biti sumnjičava oko fuzije, uz tolike podvale, prijevare i neuspjehe u prošlosti. Još tamo 1951., dok su SAD i Sovjetski Savez bili uhvaćeni u hladnoratovskom ludilu i grozničavo razvijali prvu vodikovu bombu, argentinski predsjednik Juan Perón najavio je, uz velike fanfare i medijsku pokrivenost, da su znanstvenici njegove zemlje učinili značajan iskorak u zauzdavanju Sunčeve snage. Priča je pokrenula oluju publiciteta. Činilo se nevjerojatno, no dospjela je na naslovnicu New York Timesa. Argentina je, hvalio se Perón, uspjela ostvariti znanstveni podvig gdje su supersile zakazale. Nepoznati njemački znanstvenik, Ronald Richter, nagovorio je Peróna da financira njegov "termotron", koji je obećavao neograničen izvor energije i vječnu slavu Argentini.

Američka znanstvena zajednica, koja se još uvijek hrvala s idejom fuzije u oštroj utrci s Rusijom da proizvede H-bombu, proglasila je tvrdnju besmislicom. Atomski znanstvenik Ralph Lapp kazao je: "Znam koji je drugi materijal koji koriste Argentinci. To je magla."

Tisak je odmah skovao termin Maglena bomba. Atomski znanstvenik David Lilienthal bio je upitan ima li i najmanje šanse da su Argentinci uspjeli. "I manje od toga", izbacio je.

Pod golemim pritiskom, Perón se ukopao u svom položaju, nabacujući kako su supersile jednostavno ljubomorne što ih je Argentina pretekla. Trenutak istine nastupio je konačno naredne godine, kada su Perónovi predstavnici posjetili Richterov laboratorij. Pod pritiskom, Richter je postupno sve više griješio u govoru bivajući sve bizarniji. Kad su pristigli inspektori raznio je vrata laboratorija pomoću spremnika stlačenog kisika i potom nažvrljao na komadiću papira riječi "atomska energija". Naredio je da se barut ubaci u reaktor. Presuda je bila da je vjerojatno poludio. Kad su inspektori približili uzorak radija Richterovim "radijacijskim brojačima", ništa se nije dogodilo, dakle njegova je oprema očito bila lažna. Richter je kasnije bio uhićen.

No najslavniji je slučaj bio Stanleyja Ponsa i Martina Fleischmanna, dvojice uglednih kemičara sa Sveučilišta u Utahu, koji su 1989. ustvrdili da su ovladali "hladnom fuzijom", tj. fuzijom na sobnoj temperaturi. Tvrdili su da su uronili komad metalnog paladija u vodu, koji je onda magično katalizirao fuziju vodikovih atoma u helij, oslobađajući snagu Sunca na stolu.

Šok je bio neizbježan. Gotovo su sve novine diljem svijeta stavile to otkriće na naslovnicu. Preko noći, novinari su počeli govoriti o okončavanju energetske krize i požurivanju novog vremena neograničene energije. Ludilo koje je samo sebe pothranjivalo zahvatilo je medije. Država Utah odmah je prihvatila zakon kojim se odobrava 5 milijuna dolara za osnivanje

Nacionalnog instituta za hladnu fuziju. Čak su i japanski proizvođači automobila krenuli donirati milijune dolara u svrhe poticanja tog vrućeg novog polja istraživanja. Sljedbenici su se počeli okupljati kao u nekom kultu oko hladne fuzije.

Za razliku od Richtera, Pons i Fleischmann su bili vrlo cijenjeni u znanstvenoj zajednici i rado su podijelili svoje rezultate s drugima. Pomno su opisali svoj uređaj i prikupljene podatke kako bi cijelom svijetu bili dostupni.

No tada se sve zakompliciralo. Kako je aparatura bila jednostavna, skupine diljem svijeta pokušale su reproducirati te zapanjujuće rezultate. Nažalost, većina skupina nije uspjela naći da se energija oslobađa pri reakciji te su proglasili hladnu fuziju mrtvom. Međutim, priča je održavana na životu jer je bilo sporadičnih tvrdnji da su neke skupine uspješno ponovile pokus.

Napokon je zajednica fizičara presudila. Analizirali su jednadžbe Ponsa i Fleischmanna i pronašli defekte. Ponajprije, ukoliko bi njihove tvrdnje bile točne, blještavi snop neutrona zračio bi iz čaše vode, usmrtivši pritom Ponsa i Fleischmanna. (U tipičnoj fuzijskoj reakciji, dvije vodikove jezgre spajaju se u jezgru helija, pri čemu se oslobađa energija i jedan neutron.) Tako da činjenica da su Pons i Fleischmann još uvijek živi govori protiv uspješnosti njihova pokusa. Da je u njihovim pokusima došlo do hladne fuzije, oni bi umirali od radijacijskih opeklina. Nadalje, prije će biti da su Pons i Fleischmann pronašli novu kemijsku nego termonuklearnu reakciju. I konačno, paladij ne može tako blisko vezivati vodikove atome da bi se ovi spojili u helij. To bi narušilo zakone kvantne teorije.

No kontroverziji još nije kraj, čak i danas. Još se pojavljuju tvrdnje da je nekomu uspjela hladna fuzija. Problem je što nitko nije uspio pouzdano upriličiti hladnu fuziju na zahtjev. Napokon, koji je smisao proizvodnje automobilskog motora koji radi samo povremeno? Znanost se temelji na ponovljivim, provjerljivim i opovrgljivim rezultatima koji svaki put uspiju.

VRUĆA FUZIJA

Ali prednosti fuzije su tako velike da mnogi znanstvenici nisu odoljeli pjevu sirena. Primjerice, fuzija proizvodi minimalno onečišćenje. Relativno je čista, i prirodni je način proizvodnje energije za pokretanje svemira. Jedan je nusprodukt fuzije plin helija, koji je zapravo komercijalno vrijedan. Drugi je radioaktivni čelik fuzijske komore, koji u konačnici mora biti zakopan. Tek je blago opasan i to nekoliko desetljeća. No fuzijska elektrana proizvodi neznatnu količinu nuklearnog otpada u usporedbi sa standardnom fisijskom elektranom (koja proizvodi 30 tona visokorizičnog nuklearnog otpada godišnje koji traje tisućama pa i desecima milijuna godina).

Također, fuzijske elektrane ne mogu pretrpjeti katastrofalno taljenje jezgre. Uranijske fisijske elektrane, upravo stoga što sadrže tone visokorizičnog nuklearnog otpada u jezgrama, proizvode zapaljive količine topline čak i kad su isključene. Ta otpadna toplina u konačnici može rastaliti čelik i prodrijeti do podzemnih voda, uzrokujući eksploziju pare i noćnu moru nesreće tipa Kineskog sindroma.

Fuzijske su elektrane prirodno sigurnije. “Fuzijski Kineski sindrom” je oksimoron. Primjerice, ukoliko bi se isključilo magnetsko polje fuzijskog reaktora, vruća bi plazma udarila o zidove komore i fuzijski bi proces odmah stao. Dakle, fuzijska se elektrana, umjesto da započne katastrofalni slijed lančanih reakcija, spontano isključi u slučaju nezgode.

“Čak ukoliko bi elektrana bila sravnjena, razine zračenja u krugu kilometra izvan postrojenja

bile bi tako niske da evakuacija ne bi bila nužna", kaže Farrokh Najmabadi, ravnatelj Centra za energijska istraživanja pri Sveučilištu u Kaliforniji u San Diegu.

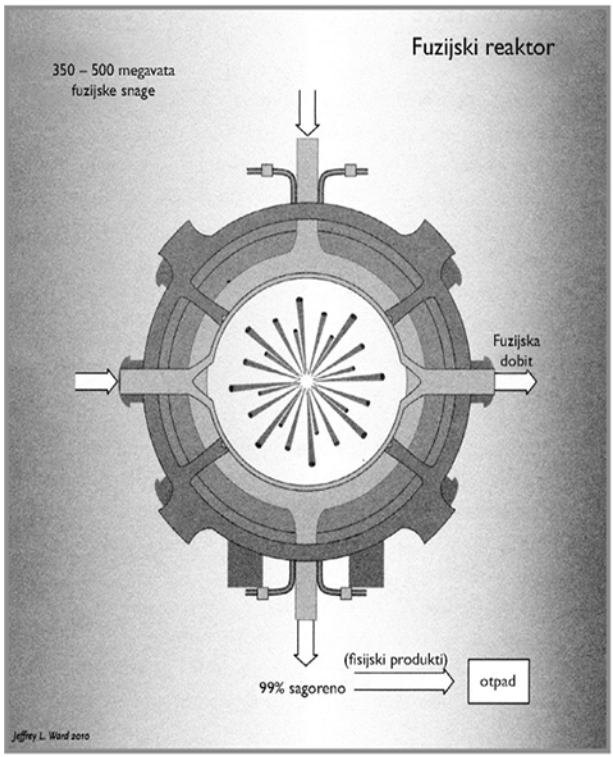
Premda komercijalna fuzija posjeduje sve te čudesne prednosti, ostaje jedan mali detalj: ona ne postoji. Nitko još nije postavio operativnu fuzijsku elektranu.

No fizičari su oprezno optimistični: "Samo desetljeće je prošlo otkako su znanstvenici sumnjali u samu ideju fuzijske energije, čak u laboratoriju. Sada znamo da je fuzija moguća. Pitanje je je li ekonomski isplativa", kaže David E. Baldwin iz tvrtke General Atomics, koji nadgleda jedan od najvećih fuzijskih reaktora u SAD-u, DIII-D.

NIF – FUZIJA UZ POMOĆ LASERA

Sve bi se to moglo prilično dramatično promijeniti u narednih nekoliko godina.

Nekoliko se pristupa problemu oprobava usporedno, i nakon desetljeća pogrešnih početaka, fizičari da će napokon postići fuziju. U Francuskoj se nalazi Međunarodni termonuklearni pokusni reaktor (ITER, engl. International Thermonuclear Experimental Reactor), koji podupiru mnogi europski narodi, SAD, Japan i drugi. A u SAD-u nalazi se Nacionalno postrojenje za paljenje (NIF, engl. National Ignition Facility).



Imao sam priliku posjetiti stroj za lasersku fuziju NIF-a, to je kolosalan prizor. Uslijed bliske povezanosti s vodikovim bombama, NIF se nalazi u Nacionalnom laboratoriju Lawrence Livermore, gdje vojska dizajnira vodikove bojne glave. Morao sam proći mnoge kontrolne točke

osiguranja ne bih li konačno bio pušten unutra.

No kad sam dospio do reaktora, bilo je to zaista zadivljujuće iskustvo. Naviknut sam promatrati lasere u sveučilišnim laboratorijima (zapravo, jedan od najvećih laserskih laboratorija Države New York izravno je ispod mog ureda na Gradskom sveučilištu New York), no gledati postrojenje NIF-a bilo je neodoljivo. Smješteno je u deseterokatnici veličine tri nogometna stadiona, sa 192 divovske laserske zrake koje se ispaljuju niz dugi tunel. Najveći je to laserski sustav u svijetu, koji ispostavlja šezdeset puta više energije od bilo kojeg prijašnjeg.

Nakon što su te zrake ispaljene niz dugi tunel, naposljetku udare u niz zrcala koja fokusiraju svaku zraku na metu veličine vrška pribadače koja se sastoji od deuterija i tricija (dvaju vodikovih izotopa). Nevjerojatno, ali 500 bilijuna vati laserske snage fokusirano je na sićušnu pilulu jedva vidljivu golom oku, pržeći je na 100 milijuna stupnjeva, što je mnogo toplije nego u središtu Sunca. (Energija kolosalnog pulsa ekvivalentna je ispostavi pola milijuna nuklearnih elektrana u kratkom intervalu vremena.) Površina te mikroskopske pilule je brzo isparena, što oslobađa udarni val koji odbaci pilulu i oslobodi energiju fuzije.

Dovršen je 2009. i trenutno prolazi pokusnu fazu. Ukoliko sve prođe u redu, bit će to prvi stroj koji proizvodi onoliko energije koliko potroši. Premda taj stroj nije zamišljen da proizvodi komercijalno električnu energiju, jest dizajniran da dokaže da laserske zrake mogu biti fokusirane da zagriju vodikom obogaćene materijale i proizvedu ukupan višak energije.

Razgovarao sam s jednim od ravnatelja postrojenja NIF, Edwardom Moseseom, o njegovim snovima i nadama za taj projekt. S kacigom na glavi, nalikovao je više na radnika u izgradnji, negoli na vrhunskog nuklearnog fizičara zaduženog za najveći laserski laboratorij na svijetu. Priznao je da je u prošlosti bilo brojnih krivih početaka. No ovo je, vjerovao je, prava stvar: on i njegov tim upravo će ostvariti važno postignuće, jedno od onih koja ulaze u povijesne knjige, bit će prvi koji će zauzdati snagu Sunca na Zemlji. Razgovarajući s njim, shvatite kako su projekti poput NIF-a održavani na životu strašću i energijom istinskih vjernika. S radošću čeka taj dan, kazao mi je, kad bude u mogućnosti pozvati predsjednika SAD-a u svoj laboratorij da najavi kako je povijest upravo stvorena.

No s početka NIF je krenuo ukrivo. (Čak je bilo i čudnovatih zgoda, kao kad je bivši suradnik ravnatelja NIF-a, E. Michael Campbell, bio prisiljen podnijeti ostavku 1999. kad je razotkriveno da je lagao o postizanju svoga doktorata na Princetonu.) Potom je rok, izvorno postavljen 2003., počeo odmicati. Troškovi su eksponencijalno rasli, s jedne milijarde na četiri milijarde dolara. Napokon je dovršen u ožujku 2009., sa šest godina zakašnjenja.

Đavo je u detaljima, kako kažu. Pri laserskoj fuziji, primjerice, 192 laserske zrake moraju udariti površinu sićušne pilule s iznimnom točnošću, tako da implodira ravnomjerno. Zrake moraju pogoditi tu sićušnu metu unutar 30 bilijuntine sekunde međusobne vremenske razlike u dolasku. Najneznatnije pomicanje laserskih zraka ili nepravilnost pilule znači da će se pilula zagrijati asimetrično, što bi prouzročilo da eksplodira na stranu, umjesto da implodira sferično.

Ukoliko je pilula nepravilna za tek 50 nanometara (ili oko 150 atoma), to također znači neuspjeh implozije. (To je kao da pokušate baciti bejzbolsku lopticu na liniju udarca s udaljenosti od 600 km.) Dakle, poravnanje zraka i pravilnost pilule glavni su problemi za predlasersku fuziju.

Kao dodatak NIF-u, Europska unija podupire vlastitu inačicu laserske fuzije. Reaktor će biti izgrađen na lokaciji Istraživačkog postrojenja za energiju iz lasera velike snage (HiPER, engl. High Power Laser Energy Research Facility), i manji je, ali možda učinkovitiji od NIF-a.

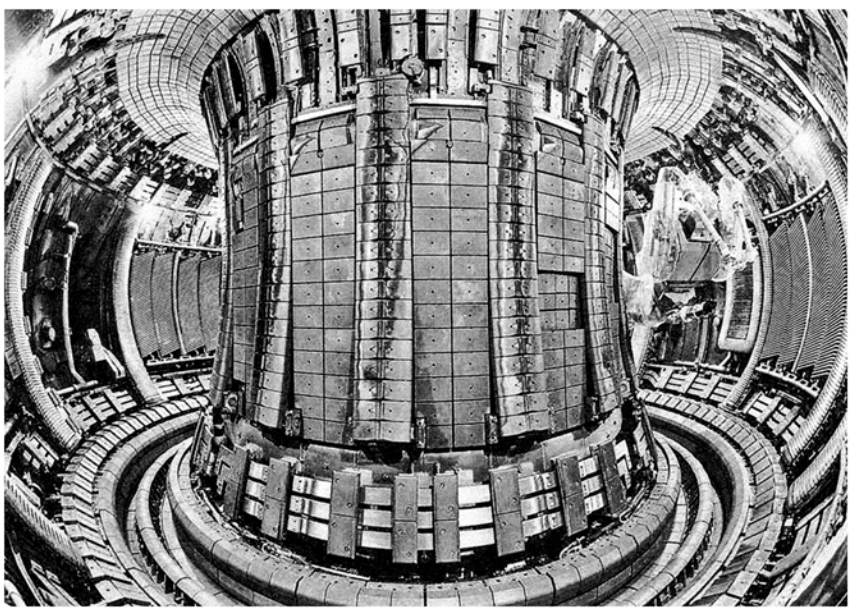
Izgradnja HiPER-a počinje 2011. godine.

Nade mnogih počivaju s NIF-om. Međutim, ukoliko laserska fuzija ne bi funkcionirala kako je zamišljeno, ima i drugi, još napredniji prijedlog za kontroliranu fuziju: staviti Sunce u bocu.

ITER – FUZIJA U MAGNETSKOM POLJU

Još jedan dizajn korišten je u Francuskoj. Međunarodni termonuklearni eksperimentalni reaktor (ITER, engl. The International Thermonuclear Experimental Reactor) koristi snažna magnetska polja da zadrži vrući vodikov plin. Umjesto korištenja lasera za trenutni kolaps sićušne pilule vodikom bogatog materijala, ITER koristi magnetsko polje u polaganoj kompresiji vodikovog plina. Stroj vrlo nalikuje golemom šupljem uštipku načinjenom od čelika, s magnetskim zavojnicama koje okružuju šupljinu uštipka. Magnetsko polje zadržava vodikov plin unutar komore oblika uštipka da ne pobjegne. Potom je električna struja propuštena kroz plin zagrijavajući ga. Kombinacijom stiskanja plina magnetskim poljem i propuštanjem struje kroza nj, plin se zagrije na nekoliko milijuna stupnjeva.

Zamisao korištenja "magnetske boce" u stvaranju fuzije nije nova. Zapravo, datira iz 1950-ih. No zašto je trebalo tako dugo, uz tolika zakašnjenja, da se fuzija komercijalizira?



Dvije vrste fuzije. Lijevo, laseri komprimiraju pilulu vodikom bogatog materijala. Desno, magnetska polja komprimiraju plin koji sadrži vodik. Do sredine stoljeća, svijet bi trebao energiju dobivati fuzijom.

Problem je u tome što magnetsko polje mora biti ugođeno s velikom točnošću kako bi plin bio komprimiran ravnomjerno bez zgrušavanja ili nepravilnosti. Zamislite da uzmete balon i pokušate ga komprimirati rukama tako da bude ravnomjerno komprimiran. Uočit ćete da se balon ispupči na mjestima razmaka među vašim rukama, čineći tako ravnomjernu kompresiju gotovo nemogućom. Problem je nestabilnosti, i to nije problem fizike koliko inženjerstva.

To se doima čudnim, s obzirom da zvijezde lako komprimiraju vodikov plin, tako su izgrađeni bilijuni zvijezda koje vidimo u našem svemiru. Priroda, čini se, bez muke stvara zvijezde na nebesima, pa zašto ne bismo mi onda na Zemlji? Razlog je u jednostavnoj, ali dubokoj razlici između gravitacije i elektromagnetizma.

Gravitacija je, kako je pokazao Newton, strogo privlačna sila. Tako da gravitacija vodikovog plina u zvijezdi ravnomjerno komprimira taj plin u sferu. (To je razlog zašto su zvijezde i planeti sferični, a ne kubični ili trokutasti.) No električni naboji dolaze u dvije vrste: pozitivni i negativni. Ukoliko biste nakupili loptu negativnih naboja, oni bi se odbijali i raštrkali posvuda uokolo. No ukoliko se dovedu blizu pozitivni i negativni naboj, dobije se takozvani dipol, sa složenim uzorkom linija električnog polja nalik paukovoj mreži. Slično i magnetska polja oblikuju dipol; dakle stiskanje vrućeg plina u komori oblika uštipka đavolski je težak zadatak. Zapravo, potrebno je superračunalo da bi se iscrtala električna i magnetska polja jednostavne konfiguracije elektrona.

Sve se svodi na ovo. Gravitacija je privlačna i može komprimirati plin ravnomjerno u sferu. Zvijezde se oblikuju bez muke. No elektromagnetska je ujedno i privlačna i odbojna sila, tako da se plinovi ispupčuju na složene načine prilikom kompresije, čineći kontroliranu fuziju iznimno teškom. To je fundamentalni problem koji je opsjedao fizičare pedeset godina.

Sve dosad. Fizičari sada tvrde da je ITER konačno riješio zakučastosti po pitanju stabilnosti magnetskog zadržavanja plina.

ITER je jedan od najvećih znanstvenih projekata ikad pokušanih. Srce je stroja komora oblika uštipka. Sveukupno će težiti 23 000 tona, daleko nadmašujući težinu Eiffelovog tornja, koji teži svega 7 300 tona.

Komponente su tako teške da se ceste kojima su prevožene moraju posebno prilagoditi. Dugi konvoj kamiona prevozit će komponente, najteža od kojih će težiti 900 tona, dok će najviša biti visine četverokatnice. Zgrada ITER-a bit će devetnaest katova visoka na platformi veličine šezdeset nogometnih stadiona. Predviđeno je da bi koštala 10 milijardi eura, trošak koji bi dijelilo sedam zemalja članica (Europska unija, SAD, Kina, Indija, Japan, Koreja i Rusija).

Kad konačno bude uključen, zagrijat će vodikov plin na 150 milijuna °C, daleko nadmašujući 15 milijuna °C u središtu Sunca. Ukoliko sve prođe u redu, proizvodit će 500 megavata energije, što je deset puta više od utrošenog iznosa energije (Trenutni rekord fuzijske snage je 16 megavata, postavljen u reaktoru JET (engl. Joint European Torus, Europski zajednički torus) u Znanstvenom centru Culham, u Oxfordshireu u Ujedinjenom Kraljevstvu.) Nakon nekih odgoda, datum izjednačenja postavljen je za 2019.

ITER je još uvijek tek znanstveni projekt. Nije dizajniran za komercijalnu proizvodnju energije. No fizičari već postavljaju temelje za naredni korak, ostvarivanje tržišne fuzije. Farrokh Najmabadi, voditelj radne skupine koja ispituje komercijalne dizajne fuzijskih elektrana, predložio je ARIES-AT, manji stroj od ITER-a, koji bi proizvodio milijardu vata po otprilike 5 centi po kilovatsatu, što bi ga učinilo kompetitivnim fosilnim gorivima. No čak i Najmabadi, koji je optimističan u pogledu fuzije, priznaje da fuzija neće biti spremna za široko tržište prije sredine stoljeća.

Drugi je komercijalni dizajn fuzijski reaktor DEMO. Dok je ITER dizajniran za proizvodnju 500 megavata u minimalno 500 sekundi, DEMO bi bio dizajniran za kontinuiranu proizvodnju. DEMO dodaje još jedan korak koji nedostaje ITER-u. Kad se dogodi fuzija, oslobodi se dodatni neutron koji brzo pobjegne iz komore. Međutim, moguće je okružiti komoru posebnim omotačem,

zvanim deka, posebno dizajniranim da uhvati energiju tog neutrona. Deka se potom zagrije. Cijevi unutar deke ispunjene su vodom, koja onda proključa. Para je poslana na propelere turbine koja proizvodi električnu energiju.

Ukoliko sve bude u redu, DEMO će na tržište 2033. Bit će 15 posto veći od ITER-a. DEMO će proizvoditi dvadeset i pet puta više energije nego što potroši. Sveukupno, očekuje se da bi DEMO proizvodio 2 milijarde vata snage, što bi ga učinilo usporedivim s konvencionalnom elektranom. Ukoliko DEMO-elektrana bude uspješna, moglo bi to značiti brzu komercijalizaciju te tehnologije.

No, preostaju mnoge nesigurnosti. Za izgradnju reaktora ITER sredstva za financiranje su već osigurana. No kako je reaktor DEMO tek u stadiju planiranja, odgode su očekivane.

Fuzijski znanstvenici vjeruju da su konačno okrenuli novu stranicu. Nakon desetljeća obećanja i podbačaja, vjeruju da je fuzija konačno dostižna. Ne jedan, već dva dizajna (NIF i ITER) mogla bi naposljetku dovesti struju od fuzije u dnevni boravak. No kako niti NIF niti ITER još uvijek ne dostavljaju komercijalno fuzijsku snagu, ima prostora za neočekivano, poput stolne fuzije i fuzije u balonu.

STOLNA FUZIJA

S obzirom na to da su ulozi tako veliki, važno je i prihvatiti mogućnost da će se rješenje ukazati iz sasvim drugog, neočekivanog pravca. Kako je fuzija dobro definiran proces, nekoliko je prijedloga izneseno koji su izvan glavnog financijskog plana velikih razmjera, ali koji imaju svoje prednosti. Napose, neki bi mogli ostvariti fuziju na stolu.

U konačnoj sceni filma Povratak u budućnost Doc Brown, ludi znanstvenik, u žustroj je potrazi za gorivom za svoj vremenski stroj DeLorean. Umjesto da natače benzin, pretražuje kante za otpad ne bi li pronašao kore od banana i otpatke, da bi potom sve ubacio u mali spremnik zvan Mr. Fusion.

U narednih stotinu godina, zar ne bi bilo izgledno da se pojavi dizajn koji bi reducirao strojeve veličine nogometnih igrališta na veličinu aparata za kavu, kao u filmu?

Jedna od ozbiljnih mogućnosti za stolnu fuziju jest sonoluminiscencija, koja iskorištava iznenadne kolapse balona da oslobodi usijavajuće temperature. Ponekad se naziva i sonarna fuzija ili fuzija u balonu. Taj zanimljivi učinak poznat je desetljećima, sve tamo od 1934., kad su znanstvenici sa Sveučilišta u Kölnu eksperimentirali s ultrazvukom i fotografskim filmom nadajući se da će ubrzati postupak razvijanja. Opazili su sićušne točke na filmu proizvedene bljeskovima svjetla uzrokovanima ultrazvukom stvorenim mjehurićima u tekućini. Kasnije su nacisti primijetili da mjehurići iz metala propelera često blješte, što je upućivalo na visoke temperature nekako stvorene unutar mjehurića.

Kasnije je pokazano da su ti mjehurići blještali jer su ravnomjerno kolabirali tako komprimirajući trak unutar mjehurića na iznimno visoke temperature. Vruću fuziju, kako smo vidjeli ranije, opsjeda problem neravnomjerne kompresije vodika, bilo stoga što su laserske zrake koje udaraju pilulu goriva neporavnane ili stoga što je plin stisnut neravnomjerno. Kako se balon skuplja, gibanje molekula je tako brzo da tlak zraka u balonu vrlo brzo postane jednak uz stjenke balona. U načelu, ukoliko je moguće kolabirati balon pod takvim savršenim uvjetima, moguće je i postići fuziju.

Pokusi sonoluminiscencije uspješno su postigli desetke tisuća stupnjeva. Uporabom plemenitih plinova može se povećati intenzitet svjetla emitiranog iz balona. No postoji neslaganje oko mogućnosti postizanja temperatura dovoljno visokih za nuklearnu fuziju. Tomu je neslaganju porijeklo u radu Rusija Taleyarkhana, bivšeg zaposlenika Nacionalnog laboratorija Oak Ridge, koji je 2002. izjavio da je uspio postići fuziju sa svojom napravom za soničnu fuziju. Tvrdio je da je opazio neutrone u svom pokusu, siguran znak da se zbiva nuklearna fuzija. Međutim, nakon godina istraživanja drugih znanstvenika koji nisu uspjeli ponoviti njegove rezultate, to je postignuće, za trenutak, bilo odbačeno.

No još je jedan adut fuzijski uređaj Philoa Farnswortha, neopjevanog izumitelja televizora. Kao dijete, Farnsworth je nadošao na zamisao televizora misleći o tome kako farmer ore polja, red za redom. Čak je i skicirao u detalje svoj prototip s četrnaest godina. Bio je prvi koji je tu zamisao ostvario u obliku elektroničkog uređaja sposobnog da proizvede pokretne slike na zaslonu. Nažalost, nije bio u stanju ostvariti nikakvu dobit od svog povijesnog izuma i zaglibio je u dugoj i neurednoj parnici s tvrtkom RCA oko patentnih prava. Njegove su ga pravne bitke čak dovele do ludila te se dobrovoljno prijavio u mentalnu instituciju. Njegov je pionirski rad prošao većinom nezapažen.

U starijoj dobi okrenuo se fuzoru, malenoj stolnoj napravi koja bi doista mogla proizvoditi neutrone fuzijom. Sastoji se od dviju velikih sfera, jednoj unutar druge, svakoj načinjenoj od žičane mreže. Vanjska je mreža pozitivno nabijena, dok je unutarnja negativno nabijena, tako da su protoni ubrizgani kroz tu mrežu odbijeni od vanjske mreže i privučeni od unutarnje. Protoni su potom sudareni sa središnjom pilulom koja sadrži vodikom bogat materijal, stvarajući fuziju i pljusak neutrona.

Dizajn je tako jednostavan da su čak i srednjoškolci ostvarili što Richter, Pons i Fleischmann nisu: uspješno proizveli neutrone. Međutim, nije vjerojatno da će ova naprava ikad proizvoditi korisnu energiju. Broj ubrzanih protona vrlo je mali, a time i konačna energija od te naprave.

Zapravo, moguće je proizvesti stolnu fuziju koristeći standardni akcelerator čestica. Akcelerator je složeniji od fuzora, no također se može iskoristiti za ubrzavanje protona koji se onda uprave prema meti bogatoj vodikom i proizvedu fuziju. No, i opet, broj spojenih protona je tako mali da je to nepraktična naprava. Dakle, i fuzor i akcelerator mogu postići fuziju, no jednostavno su tako neučinkoviti i njihove su zrake pretanke da proizvedu korisnu energiju.

Uzevši u obzir goleme uloge, nije čudo da će i drugi poduzetni znanstvenici i inženjeri imati prilike pretvoriti svoje podrumske naprave u sljedeći mega-izum.

DALEKA BUDUĆNOST (2070. DO 2100.)

DOBA MAGNETIZMA

Prethodno stoljeće bilo je stoljeće elektriciteta. Kako se elektronima lako manipulira, to je otvorilo mogućnosti posve novih tehnologija, poput radija, televizije, računala, lasera, NMR-skenera itd. No jednom, u ovom stoljeću, izgledno je da će fizičari pronaći svoj Sveti Gral: supravodiče na sobnoj temperaturi. To će požuriti posve novo razdoblje, doba magnetizma.

Zamislite vožnju u magnetskom autu, lebdeći nad tlom i putujući nekoliko stotina kilometara na sat, gotovo uopće ne koristeći gorivo. Zamislite vlakove pa i pojedinačno ljude, kako putuju zrakom, plutajući na magnetskom polju.

Zaboravljamo da benzin koji koristimo u našim automobilima većinom biva utrošen na svladavanje trenja. U načelu, gotovo uopće ne treba energije da se odveze od San Francisca do New Yorka. Glavni je razlog što benzin za put košta stotine dolara u savladavanju trenja kotača i ceste i otpora zraka. No ukoliko bi se nekako mogla cesta od San Francisca do New Yorka prekriti slojem leda, mogli biste jednostavno otploviti dobar dio gotovo besplatno. Slično naše svemirske sonde lebde onkraj Plutona sa svega nekoliko litara goriva jer krstare svemirskim vakuumom. Na isti bi način magnetski auto plutao nad tlom; jednostavno puhnete na auto, i on krene.

Ključ te tehnologije su supravodiči. Poznato je od 1911. da živa, nakon što se ohladi na 4 stupnja (kelvina) iznad apsolutne nule, izgubi sav električni otpor. To znači da supravodičke žice uopće ne gube energiju, budući da ne pružaju nikakav otpor. (To je stoga što elektroni koji se kreću kroz žicu gube energiju u sudarima s atomima. No blizu apsolutne nule, ti se atomi gotovo uopće ne kreću, tako da elektroni mogu proći mimo a da uopće ne gube energiju.)

Ti supravodiči posjeduju čudna, ali i čudesna svojstva, no jedna je ozbiljna prepreka: mora ih se ohladiti na blizu apsolutne nule tekućim vodikom, koji je vrlo skup.

Stoga su fizičari bili šokirani 1986. kad je najavljeno da je otkrivena nova klasa supravodiča koji nisu morali biti ohlađeni na fantastično niske temperature. Za razliku od prijašnjih materijala poput žive i olova, ti su supravodiči bili od keramika, za koje se prethodno mislilo da su neizgledni kandidati za supravodiče, a postali su supravodičima na 92 stupnja (kelvina) iznad apsolutne nule. Što je neugodno, jest da su postali supravodiči na temperaturi za koju se u teoriji mislilo da je nedostižna.

Dosadašnji svjetski rekord za te nove keramičke supravodiče je 138 stupnjeva (kelvina) iznad apsolutne nule (ili -135 °C). To je značajno jer se tekući dušik (koji košta kao i mlijeko) ukapljuje na 77 K (-196 °C) pa može biti korišten za hlađenje te keramike. Sama ta činjenica drastično je srezala troškove proizvodnje supravodiča. Dakle, ti visokotemperaturni supravodiči imaju izravnu praktičnu primjenu.

No ti su keramički supravodiči tek pobudili apetit fizičara. Golem su iskorak u pravom smjeru, no to još uvijek nije dosta. Ponajprije, iako je tekući dušik relativno jeftin, i dalje je potrebna rashladna oprema da se ohladi dušik. Drugo, te je keramike teško oblikovati u žice. Treće, fizičari su još uvijek unezvjereni oko prirode tih keramika. Nakon nekoliko desetljeća, fizičari i dalje nisu sigurni kako funkcioniraju. Kvantna teorija tih keramika je presložena da bi se dala egzaktno riješiti, tako da nitko ne zna zašto su te keramike supravodiči. Fizičari nemaju pojma. Nobelova nagrada čeka poduzetnog pojedinca koji uspije objasniti te visokotemperaturne supravodiče.

No svaki fizičar zna kakav bi značajan učinak polučio supravodič na sobnoj temperaturi. Pokrenuo bi narednu industrijsku revoluciju. Supravodiči na sobnoj temperaturi ne bi trebali nikakvu rashladnu opremu te bi stvarali trajna magnetska polja ogromne snage.

Primjerice, ukoliko struja protječe bakrenom petljom, njezina se energija rasipa u djeliću sekunde uslijed otpora žice. Međutim, pokusi su pokazali da bi struja u supravodičkoj petlji mogla ostati postojana godinama. Eksperimentalni dokazi upućuju na 100 000 godina kao životni vijek struje u supravodičkoj zavojnici. Prema nekim teorijama maksimalni životni vijek takve struje u supravodiču bio bi životni vijek poznatog svemira.

U najmanju ruku, takvi bi supravodiči mogli smanjiti gubitak energije opažen za električne kablove, na taj način smanjujući cijenu struje. Jedan je od razloga zašto elektrana mora biti blizu

grada jest i u gubicima pri prijenosu struje. Stoga su i nuklearne elektrane tako blizu gradova što predstavlja opasnost po zdravlje, također je to razlog činjenici da vjetroelektrane ne mogu biti postavljene u područja najjačeg vjetra.

Do 30 posto struje proizvedene u elektrani gubi se pri prijenosu. Supravodičke žice na sobnoj temperaturi mogle bi promijeniti sve to, tako stvarajući uštedu električne energije i smanjujući onečišćenje. To bi također moglo imati i dubok utjecaj na globalno zatopljenje. Kako je svjetska proizvodnja ugljikova dioksida tijesno povezana s potrošnjom energije i kako se većina te energije troši na svladavanje trenja, doba magnetizma moglo bi trajno smanjiti potrošnju energije i proizvodnju ugljikova dioksida.

MAGNETSKI AUTO I VLAK

Bez imalo dodatnog utroška energije, supravodiči na sobnoj temperaturi mogli bi omogućiti proizvodnju supermagneta sposobnih za podizanje vlakova i auta tako da plutaju nad tlom.

Jednostavna demonstracija te snage može se izvesti u svakom laboratoriju. Sam sam to izveo nekoliko puta za BBC-TV i Science Channel. Moguće je naručiti komadić visokotemperaturnog keramičkog supravodiča od neke tvrtke koja opskrbljuje znanstvenom opremom. To je tvrda, siva keramika otprilike 2,5 cm veličine. Potom možete kupiti nešto tekućeg dušika od tvrtke koja distribuira mlijeko i mliječne proizvode. Stavite keramiku u plastičnu posudu i polako ju prelijete tekućim dušikom. Dušik počne živo ključati kako se sudara s keramikom. Pričekajte dok dušik prestane ključati, pa stavite magnetić na keramiku. Kao magijom, magnet pluta u zraku. Ukoliko dotaknete magnet, on se sam od sebe krene vrtjeti. U toj maloj posudi gledate budućnost svjetskog prometa.

Razlog što magnet pluta je jednostavan. Linije magnetskog polja ne mogu prodrijeti kroz supravodič. To je Meissnerov učinak. (Kad se magnetsko polje primijeni na supravodiču, neznatna električna struja se pobudi na površini i poništi magnetsko polje, tako da je magnetsko polje izbačeno iz supravodiča.) Kad postavite magnetić na keramiku, njegove se linije polja sklupčaju jer ne mogu proći kroz keramiku. To stvara jastučić magnetskih linija polja, koje su sve stisnute skupa, tako odgurujući magnet od keramike, čineći da pluta.

Supravodiči na sobnoj temperaturi mogli bi požuriti i doba supermagneta. NMR-uređaji vrlo su korisni, kako smo vidjeli, ali zahtijevaju jaka magnetska polja. Supravodiči na sobnoj temperaturi omogućit će znanstvenicima da proizvedu jaka magnetska polja jeftino. To će omogućiti ubuduće minijaturizaciju NMR-uređaja. Već sada, uporabom nehomogenih magnetskih polja, moguće je napraviti NMR-uređaj oko 30 cm visok. Pomoću supravodiča na sobnoj temperaturi možda će biti moguće umanjiti ih na veličinu dugmeta.

U filmu Povratak u budućnost, treći dio, Michael J. Fox snimljen je jašući na lebdjelici, skateboardu koji je plutao u zraku. Nakon premijere filma, trgovine su bile preplavljene pozivima djece koja su htjela kupiti lebdjelicu. Nažalost, lebdjelice ne postoje, no mogle bi postojati uz pomoć supravodiča na sobnoj temperaturi.

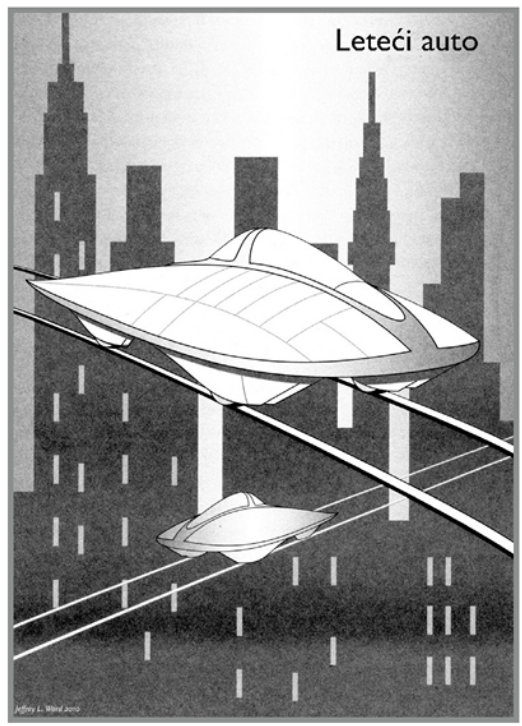
MAGLEVI I AUTI

Jedna jednostavna primjena supravodiča na sobnoj temperaturi je revolucija u prometu, uključujući automobile i vlakove koji lebde iznad zemlje gibajući se tako bez trenja.

Zamislite da se vozite u autu koji koristi supravodiče na sobnoj temperaturi. Ceste bi bile izgrađene od supravodiča umjesto od asfalta. Auto bi ili nosio trajni magnet ili proizvodio magnetsko polje pomoću vlastitog supravodiča. Auto bi lebdio. Čak bi i komprimirani zrak dostajao da pokrene auto. Jednom pokrenut, plovio bi praktički beskrajno, ukoliko bi cesta bila ravna. Električni motor ili mlaznica s komprimiranim zrakom bili bi potrebni jedino za svladavanje otpora zraka, što bi bio jedini otpor na koji bi auto nailazio.

Čak i bez supravodiča na sobnoj temperaturi, nekoliko je naroda proizvelo magnetske levitirajuće vlakove (magleve) koji plutaju nad tračnicama koje sadrže magnete. Kako se sjeverni polovi magneta odbijaju s drugim sjevernim polovima, magneti su postavljeni tako da dno vlaka sadrži magnete koji mu omogućuju da pluta tik iznad tračnica.

Njemačka, Japan i Kina su predvodnici ove tehnologije. Maglevi su čak postavili neke svjetske rekorde. Prvi komercijalni maglev bio je spori vlak-shuttle koji je prometovao 1984. između Međunarodnog aerodroma u Birminghamu i Međunarodne željezničke postaje u istom gradu. Najveća zabilježena brzina magleva jest 581 km/h, zabilježena u Japanu za vlak MLX01 2003. godine. (Mlazni avioni mogu letjeti brže, dijelom i uslijed manjeg otpora zraka u višim slojevima atmosfere. Kako maglev lebdi u zraku, većinom gubi energiju na svladavanje otpora zraka. Međutim, ukoliko bi se vlak kretao u vakuumiranoj komori, mogao bi putovati brzinom do 6 000 km/h.) Nažalost ekonomska isplativost magleva spriječila je njihovo širenje diljem svijeta. Supravodiči na sobnoj temperaturi mogli bi sve to promijeniti. To bi također moglo obnoviti željeznički sustav u SAD-u, smanjujući ispuštanje stakleničkih plinova od aviona. Procjena je da 2 posto stakleničkih plinova dolazi od mlaznih motora, tako da bi maglevi smanjili taj iznos.



Supravodiči na sobnoj temperaturi mogli bi jednoga dana biti iskorišteni za leteće aute i vlakove. Oni bi mogli lebdjeti nad tračnicama ili supravodljivim cestama, bez trenja.

ENERGIJA S NEBA

Do sredine stoljeća otvara se još jedna mogućnost proizvodnje energije: energija iz svemira. To se naziva svemirska sunčana energija (engl. Space solar power, SSP) i uključuje slanje stotina satelita u Zemljinu orbitu, koji bi apsorbirali sunčevo zračenje i potom ga odašiljali u obliku mikrovalova prema Zemlji. Sateliti bi se nalazili 35 000 kilometara iznad Zemljine površine, gdje postaju geostacionarni, okrećući se oko Zemlje brzinom Zemljine rotacije. Kako ima osam puta više sunčeve svjetlosti u svemirskom prostoru oko Zemlje nego na površini Zemlje, to predstavlja značajnu mogućnost.

Trenutno je najveća prepreka SSP-u trošak, većinom na lansiranje satelita sakupljača. Nema ništa u zakonima fizike što bi spriječilo izravno prikupljanje energije od Sunca, ali to je ogroman inženjerski i ekonomski problem. No, do kraja stoljeća, novi načini smanjivanja troška svemirskih letova mogli bi staviti te satelite na dohvat ruke, kao što ćemo vidjeti u šestom poglavlju.

Prvi ozbiljni prijedlog za SSP izrađen je 1968., kad je Peter Glaser, predsjednik Međunarodnog društva za solarnu energiju, predložio slanje satelita veličine modernih gradova da odašilju energiju prema Zemlji. NASA-ini znanstvenici ozbiljno su procijenili njegov prijedlog 1974. i proračunali trošak na nekoliko stotina milijardi, što je pokopalo projekt.

No uslijed stalnog napretka svemirske tehnologije, NASA je nastavila financirati studije SSP-a malih razmjera od 1995. do 2003. Zagovaratelji te tehnologije tvrde kako je samo pitanje vremena kad će tehnički i ekonomski SSP zaživjeti. “SSP nudi doista održiv, globalni izvor energije bez emisija”, kaže Martin Hoffert, fizičar, prethodno sa Sveučilišta New York.

Postoje znatne poteškoće s kojima bi se tako ambiciozan projekt mogao suočiti, stvarne i izmišljene. Neki strahuju od ovog projekta uslijed opasnosti da odaslana energija slučajno pogodi naseljeno područje, uzrokujući goleme žrtve. Međutim, taj je strah pretjeran. Ukoliko se proračuna stvarna količina zračenja koja dospijeva na Zemlju iz svemira, nalazi se da je premala da uzrokuje bilo kakvu opasnost po zdravlje. Tako da su vizije pokvarenog satelita koji odašilje zrake smrti prema Zemlji da sprži cijele gradove više u području hollywoodske noćne more.

Znanstvenofantastični pisac Ben Bova, pišući za Washington Post 2009., predočio je zastrašujuću ekonomiju tih satelita. Procijenio je da bi svaki satelit proizvodio 5-10 gigavata snage, mnogo više od konvencionalne termoelektrane, koja bi koštala osam do deset centa po kilovatsatu, što bi ga učinilo konkurentnim. Svaki bi satelit bio ogroman, oko 2 km u promjeru, i koštao oko milijardu dolara, što je otprilike cijena nuklearne elektrane.

Ne bi li pokrenuo razvoj te tehnologije, zamolio je sadašnju administraciju da zasnuje pokusni projekt, lansiranjem satelita koji bi mogao proizvesti 10 do 100 megavata. Po pretpostavci, mogao bi biti lansiran potkraj drugog mandata predsjednika Obame ukoliko se odmah krene s planiranjem.

Odjek na te komentare bila je velika inicijativa japanske vlade. Japansko Ministarstvo trgovine najavilo je 2009. plan da se ispita izvedivost SSP-a. Mitsubishi Electric i druge japanske tvrtke udružit će se u programu vrijednom 10 milijardi dolara koji će možda okončati lansiranjem postaje solarne energije u svemir koja će proizvoditi milijardu vata snage. Bit će ogromna, oko 4 km2 površine, prekrivena solarnim ćelijama.

“Zvuči kao animirani znanstvenofantastični film, no SSP bi mogao postati značajan alternativni izvor energije u ovom stoljeću kako nestaju fosilna goriva”, kaže Kensuke Kanekiyo s

Instituta za energijsku ekonomiju, vladine istraživačke organizacije.

Uzevši u obzir razmjere tog ambicioznog projekta, japanska je vlada oprezna. Istraživačka skupina prvo će provesti naredne četiri godine proučavajući znanstvenu i ekonomsku izvedivost projekta. Ukoliko ta skupina da zeleno svjetlo, japansko će Ministarstvo trgovine i Japanska agencija za istraživanje u zrakoplovstvu krenuti s planom lansiranja malog satelita 2015. kako bi testirali odašiljanje energije iz svemirskog prostora.

Glavna prepreka vjerojatno neće biti znanstvena, već ekonomska. Hiroshi Yoshida iz tvrtke za savjetovanja o svemiru Excalibur KK u Tokyju upozorio je: "Ti troškovi moraju se spustiti na stotinu sadašnjih procjena." Jedan je problem što ti sateliti moraju biti 35 000 km daleko u svemirskom prostoru, mnogo dalje od blisko-orbitnih satelita na udaljenosti od 500 km, tako da bi gubitci pri prijenosu mogli biti golemi.

No glavni je problem cijena potisnih raketa. To je isto usko grlo koje je spriječilo povratak na Mjesec i daljnje istraživanje Marsa.

Ukoliko se cijena lansiranja drastično ne spusti, taj će se plan tiho ugasiti.

Optimističnije, japanski plan bi se mogao ostvariti do sredine stoljeća. Međutim, uz probleme lansiranja, izglednije je da će plan čekati kraj stoljeća, kad će nova generacija raketa smanjiti trošak. Ako je glavni problem sa solarnim satelitima trošak, tad je naredno pitanje: možemo li smanjiti trošak svemirskog putovanja tako da jednog dana dosegnemo zvijezde?

6. BUDUĆNOST PUTOVANJA SVEMIROM

Prema zvijezdama

Dovoljno smo dugo boravili na obalama kozmičkoga oceana. Konačno smo spremni zaploviti prema zvijezdama.

— CARL SAGAN

U moćnim kočijama mitološki bogovi su prelazili nebeske poljane planine Olimpa. Norveški bogovi su na vikinškim brodovima jedrili po kozmičkim morima prema Asgardu.

Do 2100. čovječanstvo će biti na pragu doba svemirskoga istraživanja i posezanja za zvijezdama. Noćne će zvijezde, koje se čine na dohvat ruke, a opet su nam toliko daleko, biti u središtu pozornosti raketnih znanstvenika do kraja stoljeća.

Put do izradbe svemirskih brodova bit će strmovit. Čovječanstvo je nalik na čovjeka čije su ruke pružene prema nebu, a noge zaglibjele u blatu. To će stoljeće vidjeti novo razdoblje istraživanja svemira pomoću robota. Slat ćemo satelite da lociraju planete nalik na Zemlju, da istraže mjesečeve Jupitera i da slikaju prve trenutke Velikog praska. Međutim, istraživanje svemira koje je zavodilo generacije sanjara i vizionara postat će uzrokom nekih razočaranja.

BLISKO DOBA (SADAŠNJOST DO 2030.)

PLANETI IZVAN SUNČEVA SUSTAVA

Jedno od najvećih postignuća svemirskoga programa bilo je robotizirano istraživanje svemira koje je uvelike proširilo horizonte čovječanstva.

Najvažnija misija bit će potraga za planetima nalik Zemlji koji mogu pružiti uvjete za život. To je sveti gral svemirskih znanosti. Dosad su teleskopi na Zemlji identificirali 500 planeta koji kruže u dalekim zvjezdanim sustavima, a novi planeti otkrivaju se ritmom od jednog planeta svakih jedan do dva mjeseca. Veliko razočaranje je da naši uređaji mogu identificirati samo divovske planete veličine Jupitera koji ne mogu podržavati život kakav nas zanima.

Da pronađu planete, astronomi tragaju za malenim titrajima na putanji zvijezda. Solarni sustavi mogu se usporediti s ručnim utegom koji se okreće oko svoje osi na način da se dva kraja utega vrte jedan oko drugoga. Jedna glava bučice predstavlja zvijezdu koja se jasno vidi

teleskopom, a druga planet veličine Jupitera koji je oko milijun puta tamniji. Dok se sunce i planet veličine Jupitera vrte oko središta bučice, teleskopom se jasno vidi titranje zvijezde. Tom se metodom uspješno identificiralo stotine plinskih divova u svemiru, ali nije dovoljno sofisticirana da otkrije sićušne planete nalik na Zemlju.

Najmanji planet otkriven takvim teleskopima identificiran je 2010. Veći je 3 do 4 puta od Zemlje. Začudo, ta "super-Zemlja" je prvi planet koji se nalazi u naseljivoj zoni svoga Sunca – na udaljenosti pogodnoj za tekuću vodu.

Sve se promijenilo pokretanjem teleskopa Keplerove misije 2009. i satelita COROT 2006. Te svemirske sonde tragaju za neznatnim fluktuacijama u zvjezdanoj svjetlosti prouzrokovanim kretanjem malenih planeta ispred zvijezde koji tako onemogućuju prolaz neznatnom dijelu njezine svjetlosti. Pažljivom pretragom tisuća zvijezda u potrazi za takvim neznatnim fluktuacijama, svemirske će sonde otkriti na stotine planeta poput Zemlje. Kad se otkriju, lako je napraviti analizu vodenih zaliha planeta – vjerojatno najvrjednije stvari u svemiru. Tekuća voda je prirodno otapalo – zdjela za miješanje u kojoj je ponikla DNA. Ako pronađemo oceane pune tekuće vode na tim planetima, to će promijeniti naše razumijevanje života u svemiru.

Novinari u potrazi za skandalom kažu: "Slijedi novac." Astronomi u potrazi za životom kažu: "Slijedi vodu."

Satelit Kepler će zamijeniti osjetljiviji sateliti poput satelita pod nazivom Tragač za planetima sličnima Zemlji (engl. Terrestrial Planet Finder). Premda je datum lansiranja Tragača za planetima bio nekoliko puta odgađan, on ostaje glavni kandidat za daljnje produbljivanje istraživanja svemira.

Zemaljski će se tragač za planetima služiti mnogo boljom optikom u traganju za Zemljinim blizancima u svemiru. Imat će četiri puta veće i stotinu puta osjetljivije ogledalo od Hubbleova svemirskoga teleskopa. Imat će k tome i infracrvene senzore koje mogu poništiti snažnu radijaciju zvijezde za faktor od jednoga milijuna. Time će razotkriti prisutnost tamnoga planeta koji kruži oko nje. (Spajanjem dvaju valova radijacije zvijezde na način da se pažljivo spoje i time poništе nepoželjnu prisutnost zvijezde.)

U bliskoj ćemo budućnosti načiniti enciklopediju nekoliko tisuća planeta među kojima će nekoliko stotina biti veoma nalik na Zemlju po veličini i sastavu. Narast će i zanimanje za slanje sondi na daleke planete. Ostvarivat će se izniman napor da se provjeri sadrže li ti planeti oceane tekuće vode i postoje li signali inteligentnih životnih oblika.

EUROPA – IZVAN NASELJIVE ZONE

Postoji još jedna primamljiva meta za naše sonde unutar našega Sunčevog sustava: Europa. Desetljećima se vjerovalo da život u Sunčevu sustavu može opstojati samo u "naseljivom pojasu" oko Sunca u kojemu planeti nisu ni previše hladni ni previše vrući. Zemlja je blagoslovljena tekućom vodom zato što kruži na točno određenoj udaljenosti od Sunca. Na planetu poput Merkura, voda će ispariti, jer se nalazi preblizu Suncu. Na Jupiteru će se smrznuti, jer je predaleko. Budući da je u tekućoj vodi nastala DNA i proteini, dugo se vjerovala da život u Sunčevu sustavu može postojati samo na Zemlji ili možda i na Marsu.

Astronomi su bili u krivu. Nakon što je svemirska posada Voyagera prošla pored Jupiterovih mjeseca, postalo je jasno da postoji još jedno mjesto na kojemu može cvasti život – pod ledenom

površinom Jupiterovih mjeseca. Europa je jedan od Jupiterovih mjeseca koje je 1610. otkrio Galileo, a ubrzo se našla u središtu pozornosti astronoma. Premda mu je površina neprestano prekrivena ledom, a pod ledom se nalazi ocean tekuće vode. Budući da je ocean na Europi mnogo dublji od Zemljinog, procjenjuje se da ima dvostruko veći obujam od Zemljinog.

To je bilo veliko iznenađenje, budući da se otkrio obilan izvor energije u Sunčevu sustavu. Pod ledom se površina Europe neprestano zagrijava silama morskih mijena. Dok se Europa okreće u orbiti oko Jupitera, Jupiterova sila teže pritišće mjesec u različitim smjerovima i stvara trenje duboko u kori. To trenje stvara toplinu koja topi led i stvara stabilni ocean tekuće vode.

To otkriće pokazuje da su mjesečevi vjerojatno zanimljiviji od divovskih plinovitih planeta. (Vjerojatno je zbog toga James Cameron izabrao mjesec planeta nalik na Jupiter za lokaciju svoga filma Avatar.) Nekoć se mislilo da je život rijetka pojava. Moguće je ipak da može cvjetati u tami svemira na mjesecima dalekih plinovitih divova. Odjednom je broj mogućih mjesta na kojima bi mogao cvasti život skočio nekoliko puta.

Posljedica je toga čudnovatog otkrića da Sistemska misija Europa Jupiter (EJSM) planira lansiranje 2020. Zamišljeno je da kruži u orbiti Europe i prema mogućnostima pokuša izvršiti slijetanje. Osim toga, znanstvenici sanjaju da pošalju još sofisticiraniju opremu na Europu. Europa Ice Clipper Mission planira izbacivati kugle na ledenu površinu. Snježnu lavinu i ledeni oblak koji bi se podigli nakon udara analizirala bi svemirska letjelica. Još ambiciozniji plan pretpostavlja postavljanje podvodnoga robota na daljinsko upravljanje pod ledenu površinu.

Zanimanje za Europu potaknuto je novim razvojem događaja na dnu oceana na Zemlji. Do 1970. znanstvenici su vjerovali da je Sunce jedini izvor energije koji čini život mogućim. Podmornica Alvin je 1977. pronašla dokaze novih životnih oblika u neočekivanim okolišima. Istražujući podmorsku jamu kod Galápagosa Alvin je pronašao divovske cjevaste crve, školjkaše, rakove, vongole i druge životne oblike koji koriste za preživljavanje toplinsku energiju vulkanskih ventila. Gdje ima energije, ima i života; a ti su podmorski vulkanski ventili pružili novi izvor energije u crnim izljevima boje tinte na dnu oceana. Mnogi znanstvenici smatraju da se prva DNA nije oblikovala u čistim vodenim bazenima na Zemljinoj obali, nego u dubokome moru u blizini vulkanskih ventila. Neki od najjednostavnijih oblika DNA (i vjerojatno i najstarijih) pronađeni su na dnu oceana. Vulkanski ventili na Europi vjerojatno bi mogli potaknuti stvaranje DNA.

Možemo samo nagađati oblike života koji se nalaze pod ledenom površinom Europe. Ako postoje, vjerojatno se radi o bićima sa sposobnošću plivanja koja koriste zvučna osjetila, a ne svjetlosna, za upravljanje kretanjem tako da bi njihov pogled na svemir mogao biti ograničen životom pod ledenim "nebom".

LISA – PRIJE VELIKOGA PRASKA

Svemirski satelit koji bi mogao napraviti revoluciju u znanstvenim saznanjima je Laserska interferometrijska svemirska antena (LISA) i njene nasljednice. Te sonde će pokušati ostvariti nemoguće – otkriti što se dogodilo prije Velikoga praska.

Sada smo u stanju mjeriti brzinu kojom se udaljene galaksije odmiču od nas. (Zahvaljujući Dopplerovu efektu, prema kojemu je zvjezdana svjetlost distorzirana ako se zvijezda odmiče ili približava.) Time dobivamo brzinu širenja svemira. "Premotamo li videovrpcu unazad", možemo izračunati kad se dogodio Veliki prasak. Veoma je sličan postupak analize zapaljenih otpadaka raznesenih na sve strane eksplozijom za utvrđivanje točnoga vremena nastupa eksplozije. Isto tako možemo izračunati da je Veliki prasak nastupio prije 13,7 milijardi godina. Frustrirajuće je,

međutim, da sadašnji satelit WMAP (Wilkinsonova mikrovalna anizotropna sonda, engl. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) ne može doprijeti dublje od 400 000 godina poslije Praska. Dakle, naši nam sateliti mogu potvrditi da je došlo do Praska, ali nam ne mogu objasniti što je i zašto prasnulo i koji mu je bio uzrok.

To je razlog tolikome uzbuđenju oko LISA-e. LISA će mjeriti potpuno novi tip radijacije – gravitacijske valove od samoga trenutka Velikoga praska.

Svaki puta kad se očitala nova radijacija, mi smo mijenjali naš pogled na svemir. Kad je Galileo prvi puta upotrijebio teleskope da ocrta kartu zvijezda i planeta, otvorila su se vrata znanosti astronomije. Kad su nakon Drugog svjetskog rata bili usavršeni radijski teleskopi, otvorili su novi svijet crnih rupa i zvjezdanih eksplozija. Sada dolazi treća generacija teleskopa koja otkriva gravitacijske valove, a koja bi mogla otvoriti vrata na još više začuđujući svemir sudarajućih crnih rupa i viših dimenzija, a možda čak i multiverzuma.

Datum lansiranja je određen negdje između 2018. i 2020. LISA se sastoji od tri satelita koji oblikuju divovski trokut 5 milijuna kilometara poprijeko, povezanih trima laserskim zrakama. To će biti najveći svemirski stroj ikada poslan u orbitu. Svaki gravitacijski val koji potječe od Velikoga praska, a još uvijek odzvanja svemirom, odzvonit će i u satelitima LISA-e. Takva će smetnja pomaknuti laserske zrake, a senzori će ubilježiti frekvenciju i karakteristike smetnje. Znanstvenici će na taj način moći doprijeti do jedne bilijuntinke sekunde nakon Velikoga praska. (Prema Einsteinu svemir je poput tkiva koje se rasteže i savija. Ako postoje velike smetnje, poput sudaranja crnih rupa ili Velikoga praska mogu se oblikovati valovi i putovati na tome tkivu. To burkanje ili gravitacijski valovi su premaleni da bi se otkrili običnim sredstvima. LISA je osjetljiva i dovoljno velika da prepozna njihove vibracije.)

LISA će detektirati radijaciju sudarajućih crnih rupa, ali će također biti sposobna pružiti pogled na razdoblje prije Velikoga praska, što se nekoć smatralo nemogućim.

Danas poznajemo nekolicinu teorija o razdoblju prije Velikoga praska koje se temelje na teoriji struna, mojoj specijalizaciji. Prema jednom scenariju, naš je svemir veliki mjehurić koji se neprestano širi. Živimo na opni toga divovskoga mjehurića (zalijepljeni smo poput muha na ljepilu). Naš svemirski mjehurić koegzistira u oceanu drugih svemirskih mjehurića stvarajući svemirski multiverzum nalik na vodenu kupku. Povremeno se mjehurići mogu sudariti (teorija velikoga zapljuskivanja) ili se rascijepati na manje mjehuriće i potom se širiti (time dobivamo vječno napuhivanje). Svaka od tih teorija prije Praska predviđa kako je svemir emitirao gravitacijsku radijaciju nekoliko trenutaka poslije izvornoga Praska. LISA može izmjeriti gravitacijsku radijaciju emitiranu nakon Velikoga praska i usporediti je s raznim predviđanjima teorije struna. Tako bi LISA mogla prekrižiti neke teorije, a neke druge učiniti vjerodostojnijima.

Ako LISA ne bude dovoljno osjetljiv da izvede taj delikatni zadatak, možda buduća generacija detektora nakon LISA (poput Promatrača Velikoga praska) bude na visini zadataka.

Ako uspiju, te bi svemirske sonde mogle odgovoriti na pitanje koje nije imalo odgovora stoljećima: kako je nastao svemir? Doskora bi tako mogli razjasniti početak Velikoga praska.

LJUDSKE POSADE U MISIJAMA U SVEMIR

Dokle robotizirane misije budu otvarale nove poglede u istraživanju svemira, dotle će misije s ljudskim posadama nailaziti na mnogo veće prepreke. U usporedbi s ljudskim posadama,

robotizirane posade su mnogo jeftinije i svestranije, mogu istraživati opasne okoliše, ne zahtijevaju skupe instrumente za održavanje života i, najvažnije, ne moraju se vratiti kući.

Činilo se 1969. da su astronauti spremni istražiti čitav Sunčev sustav. Neil Armstrong i Buzz Aldrin su prošetali Mjesečevom površinom, a ljudi su već sanjali o putovanju na Mars i dalje. Činilo se kao da smo na pragu putovanja k zvijezdama. Novo je doba svitalo čovječanstvu.

Taj se san rasplinuo.

Isaac Asimov je to opisao kao da smo postigli pogodak, uzeli loptu i otišli doma. Danas se stare potisne rakete Saturn nalaze u muzejima ili trunu na smetlištima. Čitava generacija raketnih znanstvenika se rasula. Tempo svemirske utrke je pomalo jenjavao. Danas se spomen slavne šetnje Mjesecom može pronaći samo u prašnjavim povijesnim knjigama.

Što se dogodilo? Mnogo toga, uključujući Vijetnamski rat, skandal Watergate, itd. Kad se ipak sve prokuha, svodi se sve na jednu riječ: cijena.

Ponekad zaboravljamo da su putovanja u svemir vrlo skupa. Poslati pola kile nečega u orbitu košta 10 000 dolara. Zamislite kip astronauta Johna Glenna napravljenog od čistoga zlata pa ćete shvatiti cijenu svemirskih putovanja. Putovanje do Mjeseca zahtijeva oko 100 000 dolara na pola kilograma težine poslane u svemir. Poslati nekoga do Marsa koštalo bi oko 1 000 000 dolara na pola kilograma težine (otprilike ljudska težina u dijamantima vrijedi toliko).

Sve se to, međutim, skrivalo pred uzbuđenjem i dramatičnošću natjecanja s Rusima. Spektakularni svemirski podvizi smionih astronauta sakrivali su pravu cijenu putovanja u svemir od pogleda javnosti. Nacije su bile spremne skupocjeno plaćati svoj nacionalni ponos koji je bio u pitanju. Čak niti supersile ne mogu izdržati tolika izdvajanja kroz nekoliko desetljeća.

Prošlo je već 300 godina otkako je Sir Isaac Newton zapisao zakone mehanike, još uvijek se držimo jednostavnoga računa. Da bi predmet bio izbačen u područje Zemljine orbite, mora biti poslan s brzinom od oko 30 000 km/h. Slanje u prostor izvan orbite zahtijeva postizavanje brzine preko 40 000 km/h. (Da bismo postigli tu brzinu, moramo koristiti Newtonov treći zakon mehanike: svaka akcija prouzrokuje jednakovrijednu reakciju. Raketa se pomiče prema naprijed zato što izbacuje vruće plinove u suprotnome pravcu, jednako kao što balon leti po sobi kada ga napušete i pustite u zrak.) Jednostavan je korak od Newtonovovih zakona do izračunavanja troškova putovanja u svemir. Ne postoji zakon inženjerstva ili fizike koji bi priječio istraživanje Sunčeva sustava. Radi se samo o cijeni.

Raketa mora nositi vlastito gorivo, čime postaje još teža. Zrakoplovi rješavaju taj problem crpljenjem kisika iz zraka za izgaranje unutar motora. Budući da nema zraka u svemiru, raketa mora nositi vlastite spremnike kisika i vodika.

To je glavni razlog zašto je putovanje u svemir toliko skupo, ali je ujedno i razlog zašto još uvijek nemamo mlaznice za letenje i leteća vozila. Pisci znanstvene fantastike (ne pravi znanstvenici) najavljivali su dan kad ćemo staviti naprtnjaču s mlaznim pogonom na leđa i odletjeti na posao ili poći na nedjeljni izlet poletjevši u obiteljskom letećem automobilu. Mnogi su ljudi ostali razočarani futurolozima, zato što su se ta predviđanja pokazala neutemeljenima. (Zbog toga možemo pročitati niz članaka i knjiga s ciničnim naslovom poput “Gdje su moje mlaznice?”) Kratak izračun ukazuje na razlog. Naprtnjače na mlazni pogon već postoje. Nacisti su ih kratko koristili tijekom II. svjetskoga rata. Hidrogen peroksid brzo izgara i naprtnjača brzo ostaje bez pogona, tako da uobičajeni let traje tek nekoliko minuta. Isto tako, korištenje elisa poput onih na

helikopteru troši ogromne količine goriva, što ih čini neisplativima za obične građane.

UKIDANJE MJESEČEVA PROGRAMA

Zbog ogromnih troškova putovanja u svemir, trenutačno budućnost istraživanja svemira ljudskim posadama stoji na čekanju. Bivši je predsjednik George W. Bush predstavio jasan, ali i ambiciozan plan svemirskoga programa. Prvo će space shuttle biti povučen iz uporabe 2010. i biti zamijenjen 2015. novim raketnim sustavom nazvanim Constellation. Drugo, astronaut će se vratiti na Mjesec do 2020. i probati uspostaviti stalnu ljudsku bazu na Mjesecu. Treće, tako bi se pokušao utrti put ljudskoj misiji na Mars.

Međutim, novčana sredstva za svemirska putovanja do srži su se izmijenila od tada do danas, osobito zbog velike recesije koja je isušila sredstva za buduće svemirske misije. Izvješće Augustinova odbora koje je predano predsjedniku Baracku Obami 2009. donosi zaključak da je raniji plan neodrživ kad se uzme u obzir trenutna financijska situacija. Predsjednik Obama je 2010. podržao zaključke Augustinova izvješća i ukinuo space shuttle i planiranu zamjenu kojom se trebalo vratiti na Mjesec. U sljedećem razdoblju će NASA biti primorana obraćati se Rusima jer neće biti raketa da šalju astronaute u svemir. U međuvremenu su otvorena vrata privatnim tvrtkama da se upuste u pokretanje svemirskih programa. U oštroj opreci sa svojom prošlošću, NASA više neće proizvoditi rakete za ljudske misije u svemir. Zagovornici novoga plana tvrde da će se pokrenuti novo razdoblje putovanja u svemir kad privatne tvrtke preuzmu stvar. Kritičari plana tvrde da će to svesti NASA-u na “tvrtku koja ne vodi ničemu”.

SPUŠTANJE NA ASTEROID

Augustinovo izvješće je iznijelo fleksibilan put koji sadrži nekoliko skromnih ciljeva koji ne zahtijevaju toliko raketnoga goriva. Lansiranje rakete na obližnji asteroid koji slučajno prolazi ili na koji od Marsovih mjeseca. Taj asteroid ne mora ni biti na našim nebeskim kartama u tome trenutku, mogao bi to biti naprosto kakav lutajući asteroid koji ćemo otkriti u doglednoj budućnosti.

Teškoća je, prema Augustinovu izvješću, da je raketno gorivo potrebno za spuštanje i povratak s misije na Mjesec – a posebice na Mars – previše skupocjeno. Budući da asteroidi i Marsovi mjeseci imaju jako niska gravitacijska polja, takve misije ne bi iziskivale mnogo raketnoga goriva. Augustinovo izvješće je spomenulo mogućnost posjeta Lagrangeovih točaka – mjesta u svemiru na kojima se gravitacijska sila Mjeseca i Zemlje međusobno poništavaju (Te točke vjerojatno služe kao kozmičko smetlište, jer su se tu možda zadržali otpaci ranoga Sunčevoga sustava. Astronauti bi mogli pronaći zanimljivo kamenje iz razdoblja stvaranja Zemljinoga i Mjesečevoga sustava.)

Spuštanje na asteroid bi sigurno bila misija s malenim troškovima, budući da asteroidi imaju veoma slaba gravitacijska polja. (To je također razlog zašto asteroidi imaju nepravilne oblike. U svemiru su veliki predmeti poput zvijezda, planeta i mjesečeva okrugli zato što gravitacija jednako pritišće. Svaka nepravilnost oblika nestaje postupno kako djeluje sila gravitacije. Gravitacijsko polje asteroida je toliko slabo da ne uspijeva zaobliti površinu asteroida.)

Jedna od mogućnosti je asteroid Apophis koji će proći pored Zemlje 2029. Apophis je širok oko 300 m – veličina velikoga nogometnoga stadiona, a toliko će se približiti Zemlji da će proći ispod nekih satelita. Ovisno o načinu kako orbita asteroida bude iskrivljena tim bliskim

mimoilaženjem, mogao bi se vratiti prema Zemlji 2036., a tada postoji malena mogućnost (1 od 100 000) da će se sudariti sa Zemljom. Ako bi se to dogodilo, udar bi bio 100 000 puta snažniji od udara bombe koja je pala na Hirošimu, a dostajao bi da se u vatrenim olujama, potresima i sagorjelim ostacima uništi područje veliko poput Francuske. (Usporedbe radi, mnogo je manji predmet, veličine zgrade, udario u Tunguskoj u Sibiru 1908. snage oko 1000 bombi iz Hiroshime. Izbrisano je 2500 četvornih kilometara šume, a nastao je i udarni val koji se osjetio tisućama kilometara u daljinu. Nastao je i neobični odsjaj koji se mogao vidjeti iznad Azije i Europe tako da su ljudi u Londonu mogli čitati novine usred noći.)

Put do Apophisa ne bi previše napregnuo NASA-ine financijske resurse, budući da asteroid svejedno dolazi prema Zemlji, ali bi slijetanje na asteroid moglo stvarati probleme. Budući da mu je gravitacijsko polje vrlo slabo, astronauti bi se morali zakačiti na asteroid, a ne sletjeti u tradicionalnom smislu riječi. Asteroid vjerojatno nepravilno rotira, tako da bi bilo potrebno napraviti precizna mjerenja prije slijetanja. Bilo bi zanimljivo provesti istraživanje koliko je asteroid uistinu konzistentan. Neki vjeruju da je asteroid nakupina stijenja, lagano povezanih slabim gravitacijskim poljem. Drugi vjeruju da je konzistentan. Odrediti je li konzistentan ili nije, moglo bi biti od velike važnosti jednog dana kad budemo primorani uništiti ga nuklearnim oružjem. Asteroid bi se umjesto u prah mogao raspasti na nekoliko velikih komada. Tad bi opasnost bila još veća negoli u prvotnome slučaju. Bolja je zamisao da se skrene s putanje prije nego što se približi Zemlji.

SLIJETANJE NA MARSOV MJESEC

Iako Augustinovo izvješće nije podržalo misiju na Mars s ljudskom posadom, intrigantna je mogućnost slanja astronauta na Marsove satelite Fobos i Deimos. Ti su sateliti mnogo manji od Zemljinog Mjeseca i stoga imaju vrlo slabo gravitacijsko polje. Slijetanje na Marsove satelite ima nekoliko prednosti u svrhu uštede na troškovima.

1.
Prvo, ta se dva satelita mogu koristiti kao svemirske postaje. Oni bi pružili jeftin način za proučavanje planeta iz svemira bez potrebe slijetanja.

2.
Drugo, u konačnici bi pružili lakši način za pristup Marsu. Fobos je udaljen od središta Marsa manje od 10 000 kilometara zbog čega bi brzo putovanje do Crvenog planeta trajalo svega nekoliko sati.

3.
Ti bi sateliti vjerojatno imali špilje koje bi se mogle koristiti kao stalne baze s ljudskom posadom u svrhu zaštite od meteora i zračenja. Posebice na Fobosu, gdje se nalazi golemi krater Stickney, ukazujući na to da je veliki meteor pogodio satelit i gotovo ga raznio. Međutim, gravitacija je postupno privukla natrag komade satelita i ponovno ih sastavila. Zasigurno je ostalo mnogo špilja i pukotina nastalih uslijed tog davnog sudara.

POVRATAK NA MJESEC

Augustinovo izvješće je također spomenulo Prvi mjesečev program pri čemu bi se vratili natrag na Mjesec ukoliko bi bila dostupna veća financijska sredstva – barem 30 milijardi dolara u 10 godina. S obzirom da je za to mala vjerojatnost, Mjesečev program je otkazan u narednim godinama.

Taj otkazani Mjesečev program nazvan je Konstelacijskim programom, koji je sadržavao nekoliko glavnih elemenata. Na početku je bila potisna raketa zvana Ares, prva velika američka potisna raketa nakon što je raketa Saturn stavljena u ropotarnicu 1970-ih. Na vrhu je Aresa stajao modul Orion koji je mogao ponijeti šest astronauta na svemirsku postaju ili četiri astronauta na Mjesec. Zatim je uslijedio Altair, koji je zaista trebao sletjeti na Mjesec.

Stari je space shuttle, kod kojeg je čunjasta raketa bila smještena na strani potisne rakete, imao nekoliko konstrukcijskih mana, uključujući tendenciju rakete da ispušta komade pjene. To je imalo kobne posljedice za šatl Columbia koji se raspao pri ponovnom lansiranju 2003., kad je stradalo sedam hrabrih astronauta zbog komada pjene iz potisne rakete koji je prilikom polijetanja pogodio šatl i napravio rupu u krilu. Nakon lansiranja vrući su plinovi prodrli u trup Columbije ubijajući cijelu posadu unutra i uzrokujući puknuće broda. U Konstelaciji, s modulom smještenim izravno na vrh potisne rakete, to neće dalje biti problem.

Tisak je Konstelacijski program prozvao "Apollo program na steroidima" jer je umnogome nalikovao Mjesečevom programu 1970-ih. Ares I bio je visok 100 metara usporedivo sa 110 metara visokom raketom Saturn V. Trebao je ponijeti modul Orion zamjenjujući stari šatl. No, za veliki teret NASA je koristila raketu Ares V koja je visoka 116 metara, sposobna da ponese 207 tona korisnog tereta u svemir. Raketa Ares V trebala je biti kralježnica bilo koje misije na Mjesec ili na Mars. (Iako je Ares ukinut, postoji mogućnost spašavanja nekih od tih elemenata za buduće misije.)

STALNA MJESEČEVA BAZA

Iako je predsjednik Obama ukinuo Konstelacijski program, ostavio je otvorenima nekoliko opcija. Za modul Orion, koji je trebao odvesti naše astronaute natrag na Mjesec, sada se razmatra mogućnost njegovog pretvaranja u evakuacijsku kapsulu za Međunarodnu svemirsku postaju. Možda će u istom trenutku u budućnosti, kad se ekonomija oporavi, sljedeća vlada ponovno baciti oko na Mjesec, uključujući Mjesečevu bazu.

Zadatak uspostavljanja trajne prisutnosti na Mjesecu suočava se s mnogim preprekama. Prva prepreka su mikrometeoriti. Kamenje iz svemira često pogađa Mjesečevu površinu zbog nepostojanja atmosfere. To možemo primijetiti promatrajući njegovu površinu koja je obilježena rupama od udara meteorita, od kojih neki datiraju unatrag milijarde godina.

Dok sam bio apsolvent na Sveučilištu California u Berkeleyu, osobno sam se uvjerio u ovu opasnost. Mjesečevo kamenje doneseno iz svemira početkom sedamdesetih stvaralo je uzbuđenje unutar znanstvene zajednice. Pozvan sam u laboratorij u kojem se proučavalo kamen s Mjeseca pod mikroskopom. Izgledao je kao običan kamen, budući da je Mjesečev kamen umnogome nalik Zemljinom kamenu. No, šokirao sam se kad sam ga pogledao pod mikroskopom. Vidio sam sićušne kratere od meteora na kamenu, a unutar kamena su se nalazili još manji krateri. Krateri unutar kratera unutar kratera, nešto što nikada prije nisam vidio. Smjesta sam shvatio da bi vas bez atmosfere čak i najmanji mikroskopski dio prašine, ukoliko vas pogodi pri brzini od 65 000 kilometara na sat, mogao vrlo lako ubiti ili barem prodrijeti kroz vaše svemirsko odijelo. (Znanstvenici su svjesni goleme štete koju mikrometeoriti uzrokuju jer su izradili goleme topovske cijevi u svojim laboratorijima za ispaljivanje metalnih kuglica u svrhu simulacije i proučavanja udara meteora.)

Izgradnja podzemne Mjesečeve baze jedno je od mogućih rješenja. Zbog nekadašnje mjesečeve vulkanske aktivnosti naši bi astronauti mogli pronaći lavine cijevi koje se pružaju

duboko u mjesečevu unutrašnjost. (Lavine cijevi su stvorili drevni lavini tokovi koji su izrezbarili podzemne špilje i tunele.) Astronomi su 2009. otkrili lavinu cijev veličine nebodera koja bi mogla poslužiti kao stalna baza na Mjesecu.

Ta bi prirodna špilja mogla omogućiti jeftinu zaštitu za naše astronaute od Sunčevih baklji i zračenja uzrokovanog kozmičkim zrakama. Čak smo i kod transkontinentalnog leta iz New Yorka do Los Angelesa izloženi malim količinama zračenja (jednako kao i kad idemo na pregled rendgenskim zrakama kod zubara). Za naše astronaute na Mjesecu zračenje bi moglo biti toliko intenzivno da bi morali živjeti u podzemnim bazama. Bez atmosfere, smrtonosna kiša Sunčevih baklji i solarnih zraka mogla bi dovesti do izravnog rizika za astronaute, uzrokujući prerano starenje i rak.

Bestežinsko stanje također predstavlja problem, posebice u dugim svemirskim misijama. Imao sam priliku posjetiti NASA-in centar za obuku u Clevelandu, Ohio, gdje se provode opsežni testovi na našim astronautima. Promatrao sam jedan test u kojem je subjekt bio zavezan pojasom dok je njegovo tijelo bilo u paralelnom položaju sa zemljom. Zatim je počeo trčati na pokretnoj traci koja je bila okomito postavljena. Za to vrijeme NASA-ini znanstvenici mogli su simulirati bestežinsko stanje testirajući izdržljivost subjekta.

Razgovarajući s NASA-im liječnicima shvatio sam da je bestežinsko stanje štetnije nego što sam do tada mislio. Jedan liječnik mi je objasnio da su znanstvenici nakon nekoliko desetljeća podvrgavanja američkih i ruskih astronauta dugotrajnom bestežinskom stanju shvatili kroz koje značajne promjene prolazi tijelo: propadanje mišića, kostiju i kardiovaskularnog sustava. Naša tijela su evoluirala milijunima godina živeći na Zemljinom gravitacijskom polju. Kad smo izloženi slabijem gravitacijskom polju na dulje vrijeme, dolazi do poremećaja u našim biološkim procesima.

Nakon što provedu otprilike godinu dana u svemiru, ruski astronauti su jedva u stanju puzati. Iako svakodnevno vježbaju u svemiru, njihovi mišići atrofiraju, smanjena je razina kalcija u kostima, a njihov kardiovaskularni sustav slabi. Nekim su astronautima potrebni mjeseci za oporavak od tih oštećenja, od kojih neka mogu biti trajna. Putovanje na Mars koje bi moglo potrajati dvije godine, iscrpilo bi snagu naših astronauta, što bi ih onemogućilo u obavljanju njihove misije kad stignu na odredište. (Rotiranje svemirske letjelice jedno je od rješenja toga problema jer se time stvara umjetna gravitacija unutar letjelice. To je ujedno razlog zbog čega ne možemo proliti vodu kad vrtimo kantu punu vode iznad svoje glave. No, to je skupo zbog teške mehanizacije potrebne za rotiranje letjelice. Svaki kilogram dodatne težine predstavlja dodatni trošak od 20 000 dolara za misiju.)

VODA NA MJESECU

Prekretnica je bilo otkriće drevnog leda na Mjesecu donesenog uslijed davnih udara kometa. Sonda NASA-inog satelita za promatranje i očitavanje lunarnog kratera (LCROSS) te Kentaurova potisna raketa pali su na mjesečevo južno polarno područje 2009. Pogodili su Mjesec pri brzini od 9000 kilometara na sat stvorivši izbačaj od oko kilometar i pol i 20 metara širok krater. Iako je TV publika bila razočarana što udar LCROSS-a nije proizveo očekivanu spektakularnu eksploziju, dao je izobilje znanstvenih podataka. Pronađeno je oko 90 litara vode u izbačenom materijalu. Znanstvenici su zatim 2010. objavili zapanjujuću vijest da je 5% krhotina sadržavalo vodu, zbog čega je Mjesec vlažniji od nekih dijelova Sahare.

To može biti vrlo značajno jer bi budući astronauti mogli izvlačiti podzemne zalihe leda za

raketno gorivo (izdvajanjem vodika iz vode), za disanje (izdvajanjem kisika), za zaštitu (s obzirom da voda može apsorbirati zračenje) i za piće kad se voda pročisti. Zato to otkriće može uštedjeti stotine milijuna dolara svake misije na Mjesec.

To bi otkriće moglo značiti mogućnost za naše astronaute da žive od lokalnih resursa, iskorištavajući led i minerale s Mjeseca za izgradnju i opskrbljivanje stalne baze.

SREDINA STOLJEĆA (2030. DO 2070.)

MISIJA NA MARS

Dok je putovao na Floridu 2010., predsjednik Obama je objavio ukidanje Mjesečevog programa i umjesto toga ukazao na perspektive misije na Mars. Podržao je financiranje nepotpuno zamišljene potisne rakete koja bi mogla jednoga dana poslati astronaute dalje od Mjeseca. Zamišljao je da će doživjeti taj dan, vjerojatno sredinom 2030-ih, kad će naši astronauti hodati na Marsu. Neki astronauti poput BuzzA Aldrina bili su oduševljeni Obaminim planom da se preskoči Mjesec. Aldrin mi je jednom rekao da su Sjedinjene Države već bile na Mjesecu te se stoga prava pustolovina krije u odlasku na Mars.

Od svih planeta Sunčevog sustava, jedino Mars nalikuje Zemlji dovoljno za postojanje nekih oblika života. (Merkur je vruć planet zbog blizine Sunca i zbog toga je nepogodan za život kakav poznajemo. Plinoviti divovi – Jupiter, Saturn, Uran i Neptun – prehladni su za postojanje života na njima. Zemljin blizanac Venera pravi je pakao zbog efekta staklenika – temperature se penju do 480ºC, atmosfera se sastoji uglavnom od ugljikovog dioksida zbog čega je 100 puta gušća od naše te padaju kisele kiše. Hodajući po Venerinoj površini ugušit ćete se, bit ćete zdrobljeni do smrti, a vaši ostaci će biti spaljeni od vrućine i otopljeni zbog sumporne kiseline.)

Mars je s druge strane bio mokar planet kao i Zemlja, s oceanima i riječnim koritima koja su odavno nestala. Danas je to zaleđena pustinja lišena života. Vjerojatno su tu milijardama godina prije živjeli mikrobi ili još uvijek žive u podzemlju za vrijeme toplih proljeća.

Jednom je naša nacija donijela čvrstu odluku o odlasku na Mars za koju će biti potrebno još 20 do 30 godina da se ostvari. No, bit će puno teže dohvatiti Mars negoli Mjesec. Za razliku od Mjeseca, Mars predstavlja kvantni skok s poteškoćama. Potrebno je samo tri dana da se dođe do Mjeseca. Potrebno je šest mjeseci do godinu dana da se dođe do Marsa.

U srpnju 2009. NASA-ini znanstvenici pružili su prikaz kako bi mogla izgledati stvarna misija na Mars. Astronautima će biti potrebno oko 6 mjeseci ili više da dosegnu Mars, zatim 18 mjeseci provedenih na planetu te još 6 mjeseci za povratak s putovanja.

Sveukupno, oko 700 000 kilograma opreme trebalo bi biti poslano na Mars, više od iznosa potrebnog za 100 milijardi dolara vrijedne svemirske stanice. Kako bi štedjeli hranu i vodu, astronauti bi morali pročišćavati vlastiti otpad i zatim ga koristiti za uzgoj biljaka za vrijeme putovanja i boravka na Marsu. Zbog nepostojanja zraka, tla i vode sve se mora ponijeti sa Zemlje. Bit će nemoguće živjeti od lokalnih resursa s obzirom da na Marsu nema kisika, tekuće vode, životinja niti biljaka. Atmosfera je sastavljena od gotovo čistog ugljikovog dioksida uz atmosferski tlak od samo 1 posto zemaljskog. Bilo kakav rascjep na svemirskom odijelu uzrokovat će brz rast tlaka i smrt.

Misija će biti toliko složena da ju je potrebno svesti na nekoliko koraka. Budući da će

nošenje raketnog goriva za povratak na Zemlju biti preskupo, mogla bi biti unaprijed poslana posebna raketa na Mars koja će nositi raketno gorivo za ponovno punjenje svemirske letjelice. (Ili, ako se može izvući dovoljno kisika i vodika iz leda na Marsu, to također može poslužiti kao raketno gorivo.)

Kad stignu na Mars, astronautima će biti potrebni tjedni za prilagodbu životu na drugom planetu. Dnevni ciklus je gotovo jednak kao i na Zemlji (dan na Marsu traje 24,6 sati). No, godina traje dvostruko dulje. Temperature na Marsu nikada ne dostižu vrijednosti potrebne za topljenje leda. Pješčane oluje na Marsu izrazito su jake. Pijesak na Marsu gust je kao bebi-puder, a često se javljaju pješčane oluje koje gutaju čitav planet.

TERAFORMIRANJE MARSA?

Pod pretpostavkom da će astronauti posjetiti Mars sredinom stoljeća i uspostaviti primitivnu Marsovu postaju, postoji mogućnost za oblikovanje Marsa, tj. oblikovanje planeta kako bi ga učinili gostoljubljivijim za život. Tako nešto moguće je najranije krajem 21. stoljeća, odnosno početkom 22. stoljeća.

Znanstvenici su analizirali nekoliko načina na koje se Mars može teraformirati. Možda bi najjednostavniji način bio uvođenje metana i drugih stakleničkih plinova u atmosferu. Budući da je metan snažniji staklenički plin od ugljikovog dioksida, mogao bi zarobiti Sunčeve zrake povećavajući temperaturu površine Marsa iznad tališta leda. Osim metana, analizirani su i drugi staklenički plinovi za moguće pokuse teraformiranja planeta, kao što su amonijak i freon.

Kada jednom temperatura počne rasti, podzemni vječni led počet će se topiti po prvi put nakon milijarde godina. Otopljeni vječni led počet će ispunjavati korita s vodom. S vremenom će se oblikovati jezera, pa čak i oceani kako se atmosfera bude zgušnjavala. Time će se osloboditi više ugljikovog dioksida, što će imati pozitivan učinak.

Otkriveno je 2009. da se metan ne zadržava na površini Marsa. Većina metana na Zemlji nastaje raspadanjem organskih tvari. No, na Marsu metan može biti nusproizvod geoloških procesa. Kada bi se pronašao izvor tog metana, tada bi bilo moguće povećati njegovu proizvodnju i stoga mijenjati atmosferu.

Druga mogućnost je skretanje komete s kursa prema Marsovoj atmosferi. Ukoliko je moguće presresti kometu dovoljno daleko, čak i najmanji potisak raketnog pogona, sudar sa sondom ili privlačnost gravitacije svemirske letjelice može biti dovoljno za skretanje kometa. Kometi su uglavnom sastavljeni od zaleđene vode i periodično se kreću kroz naš solarni sustav. (Primjerice, Halleyjev komet se sastoji od jezgre – nalik kikirikiju – koja je široka otprilike 32 kilometra, sastavljena uglavnom od kamena i leda.) Dok se bude približavala površini Marsa, kometa će naići na trenje atmosfere, što dovodi do postepenog raspadanja komete i puštanja vode u atmosferu u obliku pare.

Ukoliko komete nisu dostupne, moguće je skrenuti jedan od Jupiterovih zaleđenih satelita ili asteroida koji sadržavaju led, kao primjerice Ceres, za koji se vjeruje da 20 posto čini voda. (Te satelite i asteroide bilo bi teže skrenuti s obzirom da se nalaze u stabilnoj orbiti.) Umjesto polaganog raspadanja kometa, mjeseca ili asteroida u Marsovoj orbiti i otpuštanja vodene pare, druga bi mogućnost bila upravljanje njima pri kontroliranom sudaru s Marsovim ledenim kapama. Polarna područja Marsa sastavljena su od zamrznutog ugljikovog dioksida, koji nestaje za vrijeme ljetnih mjeseci, i leda, koji čini stalni dio ledenih kapa. Ako komet, mjesec, asteroid udare u

ledene kape, mogu otpustiti ogromnu količinu topline koja će dovesti do isparavanja suhog leda. Budući da je ugljikov dioksid staklenički plin, to bi zgusnulo atmosferu i ubrzalo globalno zagrijavanje na Marsu. Što se više ugljikovog dioksida oslobodi iz ledene kape, planet postaje topliji, što zauzvrat oslobađa još više ugljikovog dioksida.

Dodatni prijedlog jest aktiviranje nuklearne bombe izravno na ledene kape. Nedostatak te mogućnosti leži u tome što bi tekuća voda sadržavala radioaktivni otpad. Mogli bismo pokušati stvoriti fuzijski reaktor koji može otopiti polarne kape. Fuzijske elektrane koriste vodu kao osnovno gorivo, a obilje smrznute vode nalazi se na Marsu.

Nakon što temperatura na Marsu naraste do vrijednosti tališta leda, mogu se oblikovati bazeni vode, a neke vrste algi koje rastu na području Antarktika mogu se dovesti na Mars. Alge mogu napredovati u atmosferi Marsa koju čini 95 posto ugljikovog dioksida. One se također mogu genetski modificirati kako bi se povećao njihov rast na Marsu. Ti bazeni algi mogu ubrzati proces oblikovanja planeta nalik Zemlji na nekoliko načina. Prvo, mogu pretvoriti ugljikov dioksid u kisik. Drugo, zatamnili bi boju površine Marsa i time apsorbirali više topline iz Sunca. Treće, s obzirom da rastu sami bez poticaja izvana, bilo bi razmjerno jeftino mijenjati okoliš planeta. Četvrto, alge se mogu skupljati za hranu. Krajnje će ta jezera algi tvoriti tlo i hranjive tvari pogodne za biljke, što bi zauzvrat ubrzalo proizvodnju kisika.

Znanstvenici su također razmatrali mogućnost izgradnje solarnih satelita koji bi okruživali planet reflektirajući Sunčeve zrake prema Marsu. Sami solarni sateliti mogli bi zagrijati Marsovu površinu iznad razine zamrzavanja. Kad se tako nešto konačno dogodi i vječni led se počne otapati, planet će se samostalno nastaviti zagrijavati.

EKONOMSKA KORIST?

Ne smijemo se zavaravati o trenutnoj koristi od gospodarskog bogatstva odmah nakon što koloniziramo Mjesec i Mars. Kad je Kolumbo doplovio u Novi svijet 1492., otvorio je vrata novim ekonomskim plodovima. Uskoro su osvajači slali velike količine zlata koje su oteli Indijancima, a doseljenici su slali vrijedne sirovine i usjeve natrag u Stari svijet. Trošak slanja ekspedicije u Novi svijet više je nego kompenziran pronađenim vrijednim bogatstvom.

No, kolonije na Mjesecu i Marsu prilično su drukčije. Nema zraka, tekuće vode niti plodnog tla, pa se sve treba dopremiti raketnim brodom, što predstavlja veliki trošak.

Nadalje, vojna vrijednost kolonizacije Mjeseca je mala, barem u kratkom roku. Razlog je taj što potrebno u prosjeku tri dana da se stigne do Mjeseca sa Zemlje i obrnuto, dok se nuklearni rat interkontinentalnim balističkim projektilima može voditi samo devedeset minuta. Svemirska konjica na Mjesecu ne bi stigla do Zemlje na vrijeme kako bi promijenila ishod bitke. Dakle, Pentagon nije financirao nijedan program za naoružavanje Mjeseca.

To znači da, ako pokrenemo velike rudarske radove u drugim svjetovima, oni će biti u korist svemirskih kolonija, a ne za Zemlju. Kolonizatori će izvlačiti metale i materijale za svoje potrebe s obzirom da bi bilo preskupo prevoziti ih na Zemlju. Rudarske aktivnosti u asteroidnom pojasu postat će gospodarske tek kad izgradimo samoodržive kolonije koje mogu koristiti te sirovine za sebe, što se neće dogoditi do kraja ovog ili, vjerojatnije, u idućem stoljeću.

SVEMIRSKI TURIZAM

Kad će prosječni civil moći otići u svemir? Neki vizionari, poput Gerarda O'Neilla sa Sveučilišta Princeton, sanjali su o svemirskoj koloniji kao o divovskom kolu, uključujući živuće jedinke, biljke za pročišćavanje vode, jedinice za recikliranje zraka, itd., osnovane za rješavanje problema prenapučenosti Zemlje. No, u 21. stoljeću zamisao da svemirske kolonije riješe problem populacije u najboljem je slučaju maštovita. Zemlja će biti jedini dom za većinu ljudi u narednih stotinu godina ili više.

Međutim, postoji način na koji prosječan civil može otići u svemir: kao turist. Neki poduzetnici, koji kritiziraju NASA-u zbog velike količine otpada i birokracije, misle da mogu sniziti cijene svemirskih putovanja koristeći se tržišnim silama. Već su Burt Rutan i njegovi ulagači osvojili 10 milijuna dolara Nagrade Ansari X 4. listopada 2004. pokrenuvši SpaceShipOne dva puta u roku od dva tjedna do nešto više od 100 kilometara iznad zemlje. SpaceShipOne je prva svemirska letjelica na raketni pogon koja je privatno financirana za svemirski poduhvat. Troškovi razvoja se kreću oko 25 milijuna dolara. Milijarder iz Microsofta Paul Allen je također potpisao projekt.

Sada Rutan očekuje početak testova za komercijalne svemirske letove sa SpaceShipTwo. Milijarder Richard Branson iz Virgin Atlantica osnovao je Virgin Galactic, sa svemirskom lukom u New Mexicu, i već sad postoji dugačak popis ljudi koji će potrošiti 200 000 dolara kako bi ostvarili svoj san letenja u svemir. Virgin Galactic će biti prva velika tvrtka s ponudom komercijalnih letova u svemir, a već je naručila pet SpaceShipTwo raketa. Ako uspiju, to bi moglo spustiti cijene svemirskih putovanja deset puta.

SpaceShipTwo koristi nekoliko metoda za smanjenje troškova. Umjesto ogromne potisne rakete koja nosi teret u svemir, Rutan je smjestio svemirsku letjelicu na vrh zrakoplova koji koristi za uzlijetanje. Zatim, na visini od oko 15 kilometara svemirska letjelica se odvaja od zrakoplova i uključuje svoje raketne pogone. Iako svemirska letjelica ne može kružiti oko Zemlje, ima dovoljno goriva da dostigne visinu od 115 kilometara poviše zemlje, iznad većeg dijela atmosfere, tako da putnici mogu primijetiti kako nebo postaje ljubičasto, a zatim crno. Njezini motori su dovoljni snažni da dostignu brzinu od 3 maha, odnosno 3 puta brže od brzine zvuka (otprilike 3500 kilometara na sat). To nikako nije dovoljno da bi raketa dospjela u orbitu (za to morate postići brzinu od 30 000 kilometara na sat), ali je dovoljno da vas odvede do ruba atmosfere i praga svemira. Vjerojatno u bliskoj budućnosti put u svemir neće koštati više od safarija u Africi.

(Međutim, da biste u potpunosti obišli Zemlju, trebali biste platiti znatno više da biste putovali u svemirskoj postaji. Jednom sam pitao milijardera iz Microsofta Charlesa Simonyija koliko košta put na svemirsku postaju. Medijska izvješća procjenjuju oko 20 milijuna dolara. Simonyi nije želio otkriti točan iznos, već je rekao da medijske procjene nisu daleko od stvarne brojke. Toliko se sjajno proveo da je dva puta otišao u svemir. Iz tog će razloga putovanje u svemir biti pristupačno rijetkima koji si to mogu priuštiti čak i u bliskoj budućnosti.)

Doduše, svemirski turizam je doživio udarac u rujnu 2010. kad je Boeing Corporation objavila ulazak u poduzetništvo komercijalnih letova za turiste najranije 2015. To će podržati odluku predsjednika Obame da se svemirski program pretvori u privatnu industriju. Boeingov plan da se lansiranja vrše na Međunarodnu svemirsku postaju iz Cape Canaverala na Floridi, s četiri člana posade, čime bi ostalo slobodno do tri mjesta za turiste. Boeing je, međutim, bio bolno iskren oko financiranja za privatne pothvate u svemir: glavninu će morati platiti porezni obveznici. "To je nesigurno tržište", kaže John Elbon, program menadžer za Boeingovu komercijalnu posadu. "Ukoliko bismo to morali učiniti samo s našim ulaganjima uz prisutne rizične faktore, ne bismo mogli zaključiti poslovni slučaj."

ASOVI IZ RUKAVA

Veliki troškovi svemirskih putovanja spriječili su daljnji komercijalni i znanstveni razvoj, pa je zbog tog potreban novi revolucionarni dizajn. Do sredine stoljeća znanstvenici i inženjeri usavršavat će novu tehnologiju potisnih raketa koje će smanjiti troškove svemirskih putovanja.

Fizičar Freeman Dyson ukazao je na neke eksperimentalne tehnologije koje bi mogle otvoriti nebo prosječnom čovjeku. Svi ti prijedlozi sadržavaju visok rizik, ali drastično smanjuju troškove. Prvi je stroj na laserski pogon; ispaljuje snažnu lasersku zraku na dnu rakete, uzrokujući male eksplozije čiji udarni valovi guraju raketu u vis. Neprekidan slijed brzih laserskih eksplozija isparava vodu koja pokreće raketu u svemir. Velika prednost laserskog pogona jest u velikoj energiji koja dolazi iz zemljanog sustava. Laserska raketa ne sadržava gorivo. (Kemijske rakete, primjerice, troše većinu svoje energije noseći težinu svog goriva u svemir.)

Već je prikazana tehnologija laserskog pogona, a prvo uspješno testiranje modela je obavljeno 1997. Leik Myrabo iz Rensselaerovog politehničkog instituta u New Yorku izradio je prototipove tih raketa koje naziva demonstratorima tehnologije laganih letjelica (engl. lightcraft technology demonstrator). Jedan prijašnji dizajn bio je promjera 15 centimetara i težak 57 grama. Laser snage 10 kilovata pokrenuo je niz laserskih prasaka na dnu rakete proizvodeći zvuk strojnice dok su zračni prasci podizali raketu ubrzavajući ubrzanjem od 2 g (dvostruko Zemljino ubrzanje slobodnog pada, ili 20 m/s). Myrabo je izradio lagane letjelice koje su uzletjele više od 30 metara uvis (jednako kao i ranije rakete Roberta Goddarda na tekuće gorivo 1930-ih).

Dyson sanja dane kada će laserski pogon prevoziti teški teret u zemljinu orbitu za samo 2,5 dolara po kilogramu, što će itekako revolucionirati putovanje svemirom. On predviđa diva, 1000 megavata snažan laser koji može podići dvije tone tešku raketu u orbitu (To je izlazna snaga standardne nuklearne elektrane.) Raketa se sastoji od korisnog tereta i spremnika vode na dnu, iz kojeg polagano curi voda kroz uske pore.

Teret i cisterna s vodom oboje teže jednu tonu. Kad laserska zraka udari dno rakete, voda trenutno ishlapi, stvarajući niz valova koji guraju raketu prema svemiru. Raketa postigne akceleraciju 3 puta veću od akceleracije slobodnog pada (g) te napusti Zemljino gravitacijsko polje za šest minuta.

Zbog toga što raketa nema spremnik za gorivo, ne postoji mogućnost opasne eksplozije. Kemijske rakete još uvijek imaju učestalost kvara od jedan posto. Ti kvarovi su spektakularni, kad nepostojani kisik i vodik eksplodiraju stvarajući goleme vatrene kugle koje šalju kišu krhotina prema mjestu lansiranja. Naspram toga, ovaj je sustav jednostavan, siguran te se može iznova koristiti bez dugih zastoja, koristeći samo vodu i laser.

Nadalje, taj sustav bi s vremenom sam sebe otplatio. Ako bude moguće lansirati pola milijuna svemirskih letjelica godišnje, naknadom za lansiranje mogla bi se lako otplatiti cijena razvoja projekta, kao i njegovo održavanje. No, Dyson je svjestan kako je realizacija tog sna nekoliko desetljeća daleko. Istraživanje tih golemih lasera zahtijeva financiranje koje ne može priuštiti nijedno sveučilište. Ako vlada ili neka velika korporacija ne odluči financirati taj projekt, laserski pogonski sustav nikada se neće usavršiti.

Kod tog problema Nagrada X bi mogla pomoći. Jednom sam razgovarao s Peterom Diamandisom, koji je osnovao Nagradu X 1996. On je bio potpun svjestan ograničenja kemijskih raketa. Priznao mi je da se čak i SpaceShipTwo suočavao s problemom da su kemijske rakete jako skupa metoda bijega iz Zemljine gravitacije. Kao posljedica tog zaključka Nagrada X bit će dana

nekom tko može stvoriti raketu kojoj bi pogon davala zraka energije. (No umjesto zrake lasera izvor energije bila bi elektromagnetska energija, odnosno mikrovalna zraka.) Promidžbena vrijednost Nagrade X te nekoliko milijuna dolara koje će dobiti pobjednik mogli bi potaknuti poduzetnike i izumitelje da se usredotoče na stvaranje nekemijskih raketa, kao što su primjerice mikrovalne rakete.

Postoje i drugi eksperimentalni projekti izgradnje raketa, no oni uključuju razne rizike. Jedno rješenje su plinske puške koje bi lansirale projektile iz golemog pištolja, kao u romanu Julesa Vernea Put na Mjesec. Verneova raketa u stvarnosti nikada ne bi poletjela, budući da barut ne može lansirati projektil brzinom od 40 000 km/h, koliko je potrebno da se izađe iz gravitacijskog polja Zemlje. Plinska puška, naspram toga, koristi plin pod visokim tlakom kako bi lansirala projektile velikom brzinom. Abraham Hertzberg sa Sveučilišta Washington u Seattleu sagradio je prototip dug 9 metara s promjerom od 10 centimetara. Plin unutar puške spoj je metana i zraka pod 25 puta većim tlakom od onog atmosferskog. Kad se plin zapali, eksplozija teretu dâ ubrzanje od 30 000 g, ubrzanje toliko veliko da bi spljoštilo većinu metalnih predmeta.

Hertzberg je dokazao da plinske puške funkcioniraju. No, kako bi se lansirao teret u svemir, cijev mora biti mnogo duža, oko 230 metara, te koristiti razne plinove dok se kreće putanjom. Treba proći do 5 različitih stupnjeva, koristeći razne plinove kako bi se teret lansirao dovoljno jako da izađe iz gravitacijskog polja Zemlje.

Cijena lansiranja iz plinske puške mogla bi biti još i niža od laserskog pogona. No, previše je opasno lansirati ljude na taj način, jedino neživi teret može izdržati snažnu akceleraciju pri lansiranju.

Treći eksperimentalni projekt je praćka, koja poput kugle na konopcu okreće teret u krugu te ga lansira u zrak.

Derek Tidman je znanstvenik koji je sagradio prototip takve praćke. Njegov model mogao je izbaciti predmet brzinom od 330 km/h za nekoliko sekundi. Praćka je oblika uštipka, promjera jednog metra. Sama cijev je promjera 2,5 centimetra te sadrži sitnu metalnu kuglu. Dok se lopta giba unutar cijevi, maleni je motori guraju dok se ne počne kretati nevjerojatno brzo.

Prava praćka koja bi mogla lansirati teret u svemir morala bi biti značajno veća – promjera u desecima ili stotinama metara, sposobna ugurati dovoljno energije u kuglu da ona dostigne brzinu od 11 km/s. Kugla bi napustila praćku s akceleracijom 1000 g. Postoje brojna tehnička pitanja na koja se još mora odgovoriti, no najvažnija stvar je trenje između kugle i cijevi, koje mora biti minimalno.

Potrebna su još desetljeća razvijanja tih ideja. No ako vlada ili privatna industrija ne financiraju te projekte, oni će zauvijek ostati samo ideje.

DALEKA BUDUĆNOST (2070. – 2100.)

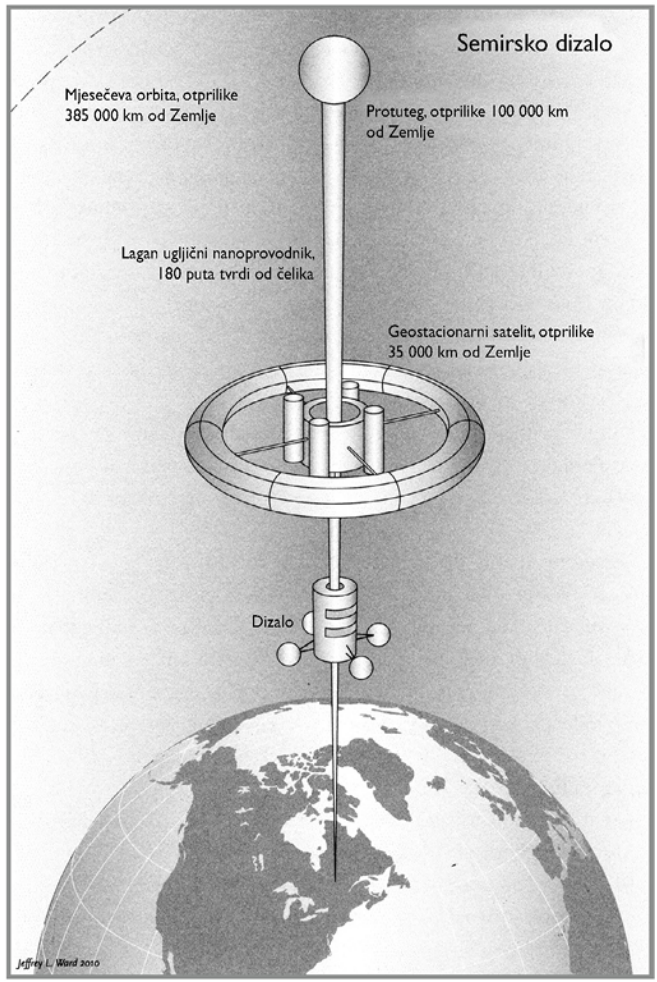
SVEMIRSKA DIZALA

Nanotehnologija bi do kraja tog stoljeća mogla omogućiti građenje svemirskog dizala. Kao u bajci Jan i divovski grah, moći ćemo se popeti u oblake, a i iznad njih. Ući ćemo u dizalo, pritisnuti gumb te se uzdići kroz kilometrima dugu ugljikovu nanocijev. I to bi moglo u potpunosti

promijeniti ekonomiju svemirskog putovanja.

Još je 1895. Eiffelov toranj, tada najviša građevina na svijetu, inspirirao ruskog fizičara Konstantina Tsiolkovskog. Postavio si je jednostavno pitanje: zašto se ne bi mogao sagraditi Eiffelov toranj koji bi se protezao do svemirskog prostora. Po njegovoj računici, kad bi bio dovoljno visok, prema zakonima fizike ne bi se mogao srušiti. On je to nazvao nebeskim dvorcem.

Zamislite kuglu zavezanu na konopac. Okrećući kuglu ukrug, centrifugalna sila je dovoljno jaka i sprječava kuglu od pada. Centrifugalna sila jednako bi djelovala i na dovoljno dugačko čelično uže. Zemljina vrtnja bila bi dovoljno snažna da zadrži čelično uže u zraku.



Svemirsko dizalo bi moglo u mnogome smanjiti troškove putovanja u svemir. Za njegovo stvaranje ključna će biti nanotehnologija.

Iako ta ideja funkcionira u teoriji, ako primjenjujući Newtonove zakone gibanja izračunamo napetost kabela, uviđamo da je napetost veća od vlačne čvrstoće čelika, što znači da bi uže puklo te učinilo ideju o svemirskom dizalu nemogućom.

Posljednjih desetljeća ideja svemirskog dizala povremeno se javljala, da bi se svaki put iznova napuštala upravo iz tog razloga. Ruski znanstvenik Yuri Artsutanov je 1957. predložio unaprjeđenje ideje, sugerirajući da se dizalo, umjesto od tla prema nebu, gradi od vrha prema dolje. Svemirski brod bi iz orbite ispustio kabel koji bi se usidrio na Zemlji. Autori znanstvenofantastičnih knjiga popularizirali su ideju svemirskih dizala. Tako taj projekt nalazimo u romanu Arthura C. Clarka Rajske fontane te romanu Roberta Heinleina Frida iz 1982. godine.

Ugljikove nanocijevi još su jednom pomogle oživljavanju te ideje. Te nanocijevi, kao što smo spomenuli, imaju iznimno veliku vlačnu čvrstoću. Čvršće i od čelika, mogu podnijeti nategnutost svemirskog dizala.

Problem leži u stvaranju čiste ugljikove nanocijevi koja je duga 80 000 kilometara. S obzirom na to da su do danas znanstvenici uspjeli stvoriti tek nekoliko centimetara čistih ugljikovih nanocijevi, taj problem predstavlja veliku prepreku u ostvarenju svemirskih dizala. Moguće je spojiti milijarde cijevi kako bi se stvorili kablovi, no takva ugljikova vlakna nisu čista, već su prešana i satkana. Izazov je stvoriti ugljikovu nanocijev čiji su atomi ugljika pravilno raspoređeni.

Znanstvenici Sveučilišta Rice 2009. su godine postigli veliki uspjeh. Vlakna koja su proizveli nisu čista već kompozitna (što znači da nisu pogodna za svemirska dizala) no njihova metoda izrade dovoljno je svestrana da stvori ugljikove nanocijevi bilo koje duljine. Oni su kroz sustav pokušaja i pogreške otkrili kako se ugljikove nanocijevi mogu rastopiti u otopini klorosulfonske kiseline te ispaliti iz mlaznice. Tom metodom moguće je proizvesti nanocijevi koji su debele 50 mikrometara i duge stotine metara.

Ugljikove nanocijevi komercijalno bi se mogle upotrijebiti kao električni kabeli, budući da su lakše, izdržljivije i provode struju bolje nego bakreni kabeli. Profesor na Sveučilištu Rice Matteo Pasquali kaže: “Za strujovode trebaju tone ugljikovih nanocijevi, a trenutačno ne postoji metoda izrade takvih cijevi. Jedno čudo dijeli nas od tog ostvarenja.”

Iako ti kabeli nisu dovoljno čisti da bi se uspješno koristili u svemirskom dizalu, to istraživanje navodi nas na zaključak da ćemo jednog dana moći proizvesti čiste ugljikove nanocijevi koje će biti dovoljno snažne da nas vinu u nebesa.

Uz pretpostavku da ćemo u budućnosti moći proizvesti duge niti čistih ugljikovih nanocijevi, ideja svemirskih dizala nailazi na još nekoliko problema. Primjerice, kabeli dizala protezat će se u visine iznad većine satelita, što znači da će se presjeći putanje satelita i kabela te će doći do sudara. Budući da sateliti uglavnom putuju brzinom od 30 000 kilometara na sat, sudar bi mogao imati katastrofalne posljedice. To nam govori kako bi dizala trebala biti opremljena posebnim raketama koje bi pomaknule kabel s puta satelita koji tuda prolaze.

Još jedan problem je olujno vrijeme, posebice uragani i jaki vjetrovi. Svemirsko dizalo mora biti usidreno na Zemlji, primjerice na nosaču aviona ili naftnoj platformi u Tihom oceanu, no istovremeno treba biti dovoljno fleksibilno da ga ne oštete sile prirode.

Ujedno treba postojati gumb koji bi u slučaju puknuća kabela otpustio kabinu za bijeg. U slučaju da nešto prekine kabel, dizalo bi moralo poput padobrana sletjeti na Zemlju.

Kako bi ubrzala istraživanja svemirskih dizala, NASA je provela nekoliko natječaja. Nagrade u vrijednosti dva milijuna dolara dane su kroz NASA Space Elevator Games. Prema zadanim pravilima tvrtke Beam Power Challenge, treba se projektirati sprava koja ne teži više od 50

kilograma, a koja se može uspeti po povodcu brzinom od 2 m/s na udaljenosti od kilometra. Ono što čini taj zadatak toliko izazovnim jest zabrana da stroj koristi bilo kakvo gorivo, baterije ili strujni kabel. Energija se treba dostaviti stroju izvana.

Bio sam u prilici iz prve ruke vidjeti entuzijazam i energiju inženjera koji rade na svemirskom dizalu i sanjaju o osvajanju nagrade. Otišao sam u Seattle kako bih upoznao mlade poduzetne inženjere iz skupine koja se naziva LaserMotive. Oni su se posvetili stvaranju prototipa svemirskog dizala.

Ušao sam u veliko skladište koje su iznajmili za testiranje svojih ideja. Na jednoj strani skladišta vidio sam jaki laser koji je bio sposoban ispaljivati snažne zrake energije. S druge strane skladišta nalazilo se njihovo dizalo. Riječ je bila o velikoj kutiji širine jednog metra, koja je na sebi imala veliko zrcalo. Zrake lasera udarile bi u zrcalo te bi skrenule na niz solarnih ćelija koje bi lasersku energiju pretvorile u struju. Ta struja bi pokrenula motor i omogućila dizalu da se polagano pokrene uz kabel. Uz takav pogon nisu potrebni strujni kabeli koji bi pokretali dizalo. Sa zemlje bi se uperio laser prema dizalu, te bi se ono samo pokrenulo uz kabel.

Laser je bio toliko snažan da smo svi trebali staviti naočale kako bismo zaštitili oči. Nakon brojnih pokušaja, napokon su uspjeli ispaliti laser te pokrenuti dizalo. Time su barem u teoriji riješili jedan od problema svemirskog dizala.

U početku se taj zadatak pokazao toliko zahtjevnim da nitko nije osvojio nagradu, dok je 2009. nije osvojio LaserMotive. Natjecanje se održalo u zračnoj bazi Edwards u pustinji Mojave u Kaliforniji. Helikopter koji je držao kabel letio je preko pustinje. LaserMotive ekipa uspjela je pokrenuti dizalo četiri puta u dva dana, s najboljim vremenom od 3 minute i 48 sekundi. Naposljetku se tim mladim inženjerima isplatio sav trud.

SVEMIRSKI BRODOVI

Unatoč ukidanju sredstava misijama u svemir, do kraja stoljeća znanstvenici će vjerojatno uspostaviti istraživačke stanice na Marsu, a možda i u asteroidnom pojasu. Nakon toga, usmjerit će svoju pažnju na prave zvijezde. Iako je međuzvjezdana sonda danas izvan domašaja, u sljedećih 100 godina mogla bi postati stvarnost.

Prvi izazov na koji znanstvenici moraju odgovoriti jest pronalazak novog pogonskog sustava. Standardnoj kemijskoj raketi trebalo bi 70 000 godina za dolazak do najbliže zvijezde. Primjerice, dvije svemirske letjelice Voyager koje su lansirane 1977. oborile su rekord u svemirskom putovanju. Trenutačno su udaljene 15 milijardi kilometara od Zemlje, što je zanemariva udaljenost naspram položaju zvijezda.

Znanstvenici predlažu nekoliko mogućih rješenja pogonskih sustava koji bi omogućili međuzvjezdana putovanja:

- solarno jedro
- nuklearna raketa
- nabojno-mlatna raketa

- nanobrodovi

Imao sam priliku upoznati jednog od vizionara projekta solarnog jedra kada sam posjetio NASA-in Centar Plum Brook u Clevelandu u Ohiju. Ondje su inženjeri sagradili najveću svjetsku vakuumsku komoru za testiranje svemirskih satelita. Komora je uistinu golema, 30 metara duga i 37 metara visoka, dovoljno velika da u sebi sadrži nekoliko stambenih zgrada te za testiranje dijelova satelita i raketa u svemirskom vakuumu. Ulazeći u komoru dojmila me se veličina tog projekta. Ujedno sam se osjetio počašćenim što mi se pružila prilika vidjeti komoru u kojoj se testirao velik broj ključnih američkih satelita, sondi i raketa.

Za svog posjeta Centru upoznao sam jednog od ključnih zagovornika projekta solarnih jedara, znanstvenika NASA-e Lesa Johnsona. Rekao mi je kako je još od djetinjstva maštao o projektiranju raketa koje bi došle do zvijezda. Johnson je čak napisao i udžbenik o solarnim jedrima. Iako vjeruje kako bi se projekt solarnih jedra mogao usavršiti u sljedećih par desetljeća, pomirio se s činjenicom da za njegova života neće doći do izgradnje međuzvjezdanih svemirskih brodova. Poput srednjovjekovnih majstora zidara, Johnson shvaća da izgradnja raketa koje će doprijeti do zvijezda traje nekoliko generacija.

Solarno jedro iskorištava svojstvo svjetla koje, iako nema mase, ima količinu gibanja, što znači da može vršiti pritisak. Iako je pritisak Sunčevog svjetla iznimno slab, preslab da bi ga osjetili na rukama, dovoljno je jak da daje pogon svemirskom brodu ako mu je jedro dovoljno veliko i ako dovoljno dugo čekamo (Sunčeva svjetlost osmerostruko je jača u svemiru nego na Zemlji).

Johnson mi je rekao kako mu je cilj stvoriti golemo solarno jedro napravljeno od tanke, ali otporne plastike. Jedro bi bilo nekoliko kilometara dugo i sagrađeno u svemiru. Kad bi se sastavilo, ono bi se okretalo oko Sunca polagano ubrzavajući. Nakon nekoliko godina u Sunčevoj orbiti jedro bi izašlo iz solarnog sustava i krenulo prema zvijezdama. Takvo solarno jedro, rekao mi je, moglo bi poslati sondu brzinom od 0,1 posto brzine svjetlosti koja bi do najbliže zvijezde došla za oko 400 godina.

Kako bi smanjio vrijeme putovanja sonde do zvijezda, Johnson se usredotočio na proučavanje metoda ubrzavanja solarnog jedra. Jedna od mogućnosti je postavljanje lasera na Mjesec. Zrake lasera udarale bi u jedro, ubrzavajući njegov put prema zvijezdama.

Budući da Sunce zrači svjetlost prema van, problem koji se javlja kod svemirskih brodova koje pokreće solarno jedro jest nemogućnost zaustavljanja i mijenjanja putanje. Jedno od rješenja je preusmjeravanje jedra te korištenje pritiska svjetlosti zvijezde za usporavanje svemirske letjelice. Druga mogućnost je putovanje oko daleke zvijezde, čija bi gravitacija odbila letjelicu dajući joj pogon za povratak. Slijetanje na Mjesec te izgradnja laserskih baterija koje bi uz svjetlost zvijezde dali pogon letjelici još je jedno potencijalno rješenje.

Johnson shvaća da je stvarnost puno skromnija od njegovih snova. Rusi su 1993. iz svemirske stanice Mir lansirali reflektor Mylar dug 20 metara, kako bi isprobali samo lansiranje jedra. Drugi pokušaj je doživio neuspjeh. Japanski znanstvenici su 2004. uspješno lansirali dva prototipa solarnih jedara, no također kako bi isprobali lansiranje, a ne pogonske mogućnosti. Planetarno društvo, Cosmos Studios i Ruska akademija znanosti pokrenuli su 2005. ambiciozni projekt lansiranja solarnog jedra Cosmos 1. Raketa Volna, lansirana s ruske podmornice zakazala je i nije uspjela ući u Sunčevu orbitu. Znanstvenici NASE također su 2008. pokušali lansirati solarno jedro naziva NanoSail-D, no ono je izgubljeno kad je raketa Falcon 1 zatajila.

Napokon je u svibnju 2010. Japanska agencija za svemirska istraživanja uspješno lansirala IKAROS, prvu svemirsku letjelicu koja koristi tehnologiju solarnih jedara u međuplanetarnom letu. Jedro je kvadratnog oblika, dijagonale dugačke 20 metara, te koristi Sunčev pogon na svom putovanju prema Veneri. Japanski znanstvenici nadaju se s vremenom lansirati letjelicu prema Jupiteru koju bi također pokretala tehnologija solarnog jedra.

NUKLEARNE RAKETE

Znanstvenici su se posvetili istraživanju potencijala nuklearne energije u pogonu svemirskih brodova. Već 1953. Komisija za atomsku energiju počela je proučavati rakete koje bi sadržavale atomske reaktore, čime je započeo Projekt Roves. 1950-ih i 1960-ih godina, eksperimenti s nuklearnim raketama uglavnom su bili promašaji. Bili su previše nestabilni i složeni da bi se mogli kontrolirati. Usto, jednostavan fisijski reaktor ne proizvodi dovoljno energije za pokretanje svemirskog broda. Tipična nuklearna elektrana proizvodi oko milijardu wata snage, što nije dovoljno za let u svemir.

Znanstvenici su 1950-ih predložili pokretanje svemirskih brodova ne reaktorima, već atomskim i vodikovim bombama. Projekt Orion, primjerice, predlagao je raketu koju bi pokretao niz nuklearnih eksplozija atomskih bombi. Svemirski brod bi izbacio niz atomskih bombi koje bi izazvale niz snažnih udara rendgenskih zraka. Snaga tog udara pokretala bi svemirski brod.

Fizičari tvrtke General Atomics su 1959. zaključili kako bi napredna verzija Oriona težila osam milijuna tona, imala promjer od 400 metara, a pokretalo bi je 1000 vodikovih bombi.

Fizičar Freeman Dyson jedan je od pobornika projekta Orion. “Po mom mišljenju Orion je mogao promijeniti tok povijesti. Mogao je udahnuti život čitavom solarnom sustavu.” kaže Dyson. Nuklearne rakete ujedno bi bile i praktično rješenje za uništavanje atomskih bombi. “Jednim putovanjem riješili bismo se 2000 bombi.”

Projekt Orion propao je 1963. kad je zabranjeno testiranje nuklearnog oružja iznad Zemlje. Bez mogućnosti provođenja testova, fizičari nisu mogli usavršiti projekt, te je ideja zamrla.

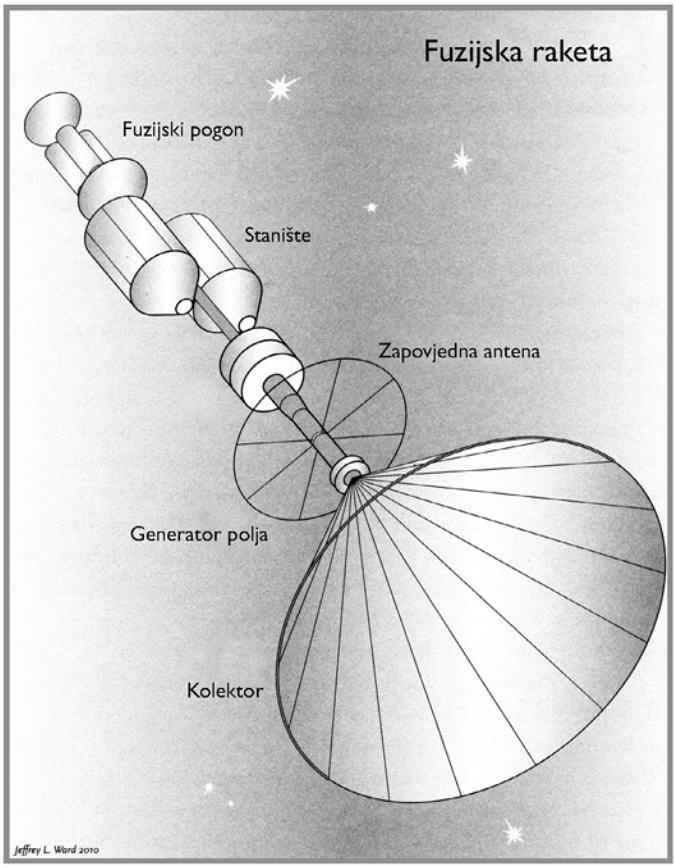
NABOJNO-MLAZNA FUZIJA

Robert W. Bussard 1960. godine zamislio je svoju verziju nuklearne rakete pokretane fuzijskim motorom sličnom običnom mlaznom motoru.

Nabojno-mlazni motori usisavaju zrak s prednje strane te ga tada miješaju s gorivom. Kad se zapali smjesa zraka i goriva, kemijska eksplozija stvara potisak. Bussard je zamislio primjenu istog načela na fuzijskim motorima. Umjesto usisavanja zraka, nabojno-mlazni fuzijski motori usisavali bi plinoviti vodik koji možemo naći svugdje u svemiru. Usisani plinoviti vodik bio bi stlačen i zagrijavan električnim i magnetskim poljima dok se fuzijom ne bi pretvorio u helij, oslobađajući pritom ogromne količine energije. Taj proces izazvao bi eksploziju koja bi stvorila potisak. Kako su količine vodika u svemiru neograničene, nabojno-mlazni fuzijski motor mogao bi raditi zauvijek.

Nabojno-mlazni fuzijski motor dizajniran je kao kornet za sladoled. Kornet usisava plinoviti vodik koji se šalje u motor, gdje se zagrijava i stapa s ostalim atomima vodika. Bussard je izračunao kako bi nabojno-mlazni fuzijski motor težine 1000 tona koji uspijeva zadržati ubrzanje od 10 m/s (tj. gravitaciju koju osjećamo na Zemlji) mogao postići 77 posto brzine svjetlosti u

samo godinu dana. Kako u teoriji nabojno-mlazni fuzijski motori mogu raditi zauvijek mogli bi izaći iz naše galaksije i doći do galaksije Andromeda, koja je od Zemlje udaljena 2 000 000 svjetlosnih godina, za samo 23 godine, ili bi se astronautima bar tako činilo. (U Einsteinovoj teoriji relativnosti stoji kako bi se vrijeme usporilo u jurećoj raketi pa bi na Zemlji prošli milijuni godina dok bi astronauti ostarjeli samo 23 godine.)



Fuzijski kolektor u teoriji može vječno proizvoditi energiju jer skuplja vodik iz međuzvjezdanog svemira.

Postoji nekoliko problema kod nabojno-mlaznih motora. Kao prvo, kako se u svemiru nalaze uglavnom protoni, fuzijski motor troši čisti vodik te tako stvara manje količine energije. (Postoji nekoliko načina za fuziju vodika. Najraširenija metoda na Zemlji je fuzija deuterija i tricija pri čemu se oslobađaju velike količine energije. U svemiru se vodik sastoji od jednog protona, a kako nabojno-mlazni motori mogu stapati protone samo s protonima, količina energije koja se dobije manja je od fuzije deuterija s tricijem.) Bussard je međutim pokazao da bi se dodajući ugljik u gorivo dobila puno veća količina energije jer bi ugljik služio kao katalizator te omogućio pogon međuzvjezdanom brodu.

Kao drugo, tijelo broda moralo bi biti ogromno kako bi moglo uspješno usisavati vodik (otprilike 160 kilometara) te bi zato moralo biti sastavljeno u svemiru.

Postoji još jedan problem koji još nije riješen. Inženjeri Robert Zubin i Dana Andrews uočili su 1985. da bi otpor koji bi bio prisutan zbog kretanja kroz polja vodikovih atoma bio dovoljno

velik da spriječi nabojno-mlazni motor od postizanja brzine svjetlosti. Njihovi se izračuni oslanjaju na neke pretpostavke koje se možda neće odnositi na nabojno-mlazne motore budućnosti.

Dok bolje ne shvatimo proces fuzije (i otpora od iona u svemiru), nabojno-mlazni motori kao pogonski sustav raketa još su pod velikim upitnikom. Ali ako bi se inženjerski problemi uspješno otklonili, nabojno-mlazne rakete postigle bi veliku popularnost.

ANTIMATERIJSKE RAKETE

Antimaterija, jedan od najvećih izvora energije u svemiru, također bi mogla poslužiti u pokretanju svemirskog broda. Antimateriju karakterizira suprotan naboj od materije. Primjerice, elektron je negativnog naboja dok je elektron antimaterije pozitivnog naboja. Antimaterija i materija se u kontaktu međusobno poništavaju. Jedna čajna žličica antimaterije ima dovoljno energije za uništavanje čitavog New Yorka

Antimaterija je toliko snažna da je u knjizi Anđeli i demoni Dana Browna negativci planiraju iskoristiti kako bi raznijeli Vatikan. Za razliku od vodikove bombe, čija je učinkovitost samo 1 posto, antimaterijska bomba imala bi stopostotnu uspješnost, pretvarajući masu u energiju prema Einsteinovoj jednadžbi E=mc2.

U teoriji bi antimaterija bila idealno gorivo za svemirske brodove. Prema pretpostavci Geralda Smitha s Državnog sveučilišta u Pennsylvaniji, 4 miligrama antimaterije bila bi dovoljna za put do Marsa, dok bi nas 100 grama dovelo do obližnjih zvijezda. Antimaterija otpušta milijardu puta veću energiju od raketnog goriva. Stroj za antimateriju bio bi prilično jednostavan. Čestice antimaterije ubacile bi se u raketnu komoru gdje bi došle u kontakt s običnom materijom, čime bi došlo do goleme eksplozije.

Još uvijek smo daleko od ostvarenja tog sna. Fizičari su uspjeli stvoriti antielektrone i antiprotone, kao i antivodikove atome u kojima antielektroni kruže oko antiprotona. Uspješne rezultate postigli su laboratorij u CERN-u te Fermijev nacionalni akceleratorski laboratorij (Fermilab) u okolici Chicaga, u svom Tevatronu, ubrzivaču čestica koji je manji jedino od onog u CERN-u. Fizičari su u oba istraživačka centra pogodili metu visoko energičnim česticama čime su oslobodili određeni broj antiprotona. Antimaterija je odijeljena od materije snažnim magnetima. Stvorene se antiprotone zatim usporilo te su se pomiješali s antielektronima, čime su se stvorili atomi antivodika.

Dave McGinnis, fizičar u Fermilabu, posvetio se proučavanju praktičnih pitanja vezanih uz antimateriju. Stojeći pored Tevatrona objasnio mi je obeshrabrujuće probleme koji se javljaju u istraživanju antimaterije. Naglasio je kako je stroj poput Tevatrona jedini pouzdani način stvaranja antimaterije, ali takvi strojevi su iznimno skupi, a stvaraju sitne količine antimaterije. Primjerice, stroj za cijepanje atoma u CERN-u proizveo je nekoliko bilijuntinki grama antimaterije za cijenu od 20 milijuna dolara. Uz takvu cijenu, pri izgradnji svemirskog broda s antimaterijskim pogonom, cijeli bi svijet bankrotirao. No, naglašava McGinnis, korištenje antimaterije za pogon svemirskih brodova vrlo je realističan projekt, u potpunosti unutar zakona fizike. Ono što njegovu provedbu čini malo vjerojatnom u bližoj budućnosti jedino je cijena njegove izvedbe.

Cijena strojeva za cijepanje atoma jedan je od razloga zašto je stvaranje antimaterije toliko skupo. No, ti strojevi su multifunkcionalni, sagrađeni prvenstveno kako bi stvorili egzotične subatomske čestice, a ne antimaterijske čestice. Oni su namijenjeni istraživanjima, a ne

komercijalnim težnjama. Postoji mogućnost da bi se njihova cijena drastično smanjila kada bi se sagradio novi stroj za cijepanje atoma koji bi bio projektiran primarno za stvaranje velike količine antimaterije. Harold Gerrish, jedan od NASA-inih znanstvenika, vjeruje da bi se cijena antimaterije mogla smanjiti na 5000 dolara po mikrogramu.

Još jedna mogućnost leži u pronalaženju antimaterijskog meteorita u svemiru. Kada bi se takav objekt našao, mogao bi priskrbiti dovoljno energije za pokretanje svemirskog broda. Europski satelit PAMELA (Teretnjak za antimaterijska-materijska istraživanja i astrofiziku lakih jezgri, engl. Payload for Antimatter-Matter Exploration and Light Nuclei Astrophysics) lansiran je 2006. isključivo u svrhu pronalaska antimaterije u svemiru.

Kada bi se velike količine antimaterije našle u svemiru, mogle bi se prikupiti velikim elektromagnetskim mrežama.

Iako su antimaterijske međuzvjezdane rakete definitivno unutar zakona fizike, vjerojatno će se njihove cijene smanjiti tek krajem stoljeća. No, ako se to izvede, antimaterija će postati ključan pogon svemirskih brodova.

NANOBRODOVI

Zahvaljujući impresivnim specijalnim efektima u Ratovima zvijezda i Zvjezdanim stazama zamišljamo svemirske brodove kao golema futuristička čuda tehnologije. No, koristeći nanotehnologiju znanstvenici imaju mogućnost sagraditi sitne svemirske brodove, ne veće od igle, a možda čak i manje. Imamo predrasude da svemirski brodovi moraju biti veliki, poput Enterprisea, te sposobni podržavati posadu astronauta. No sve ključne karakteristike svemirskog broda mogu se umanjiti nanotehnologijom, čime bi se milijuni sitnih nanobrodova mogli lansirati prema obližnjim zvijezdama od kojih bi ih samo dio uspješno završio svoje putovanje. Slijetanjem na obližnji Mjesec, uspostavila bi se tvornica u kojoj bi se nanobrodovi replicirali.

Jedan od začetnika interneta, Vint Cert, zamišlja sitne nanobrodove koji su sposobni istraživati ne samo Sunčev sustav već i obližnje zvijezde. On kaže: “Istraživanje Sunčevog sustava olakšat će konstrukcija malih, no snažnih nano-naprava koje će biti lako transportirati, lansirati na površinu ili ispod površine, kao i u atmosfere obližnjih planeta i satelita... a taj potencijal se s vremenom može proširiti i na međuzvjezdana istraživanja.”

U prirodi nalazimo dvije strategije produljivanja vrste kroz milijune godina. Sisavci rađaju malen broj potomaka, te se skrbe za njih kako bi svi preživjeli. Za razliku od njih, insekti rađaju mnogo potomaka, od kojih samo malen postotak preživi. Taj pristup mogao bi se primijeniti i na svemirske brodove. Umjesto da u međuzvjezdano putovanje pošalju jedan skupi svemirski brod znanstvenici mogu lansirati milijune nanobrodova, od kojih svaki košta nekoliko kuna i zahtijeva jako malo goriva.

Ideja nanobrodova preuzeta je iz prirodne strategije okupljanja životinja u jatima. Ptice i pčele lete u jatima i rojevima kako bi se lakše zaštitile i brže proširile upozorenje u slučaju opasnosti. Jata su ujedno ekonomična u potrošnji energije. Kad ptice lete u karakterističnoj V formaciji, turbulencija i smanjeni otpor koji nastaju kao produkti formacije smanjuju energiju potrebnu za let ptica.

Znanstvenici nazivaju jato superorganizmom koji naizgled ima vlastitu inteligenciju, nezavisnu o sposobnostima individualnih jedinki. Mravi imaju vrlo jednostavan živčani sustav i

sitan mozak, no zajedno stvaraju složene mravinjake. Znanstvenici se nadaju inkorporirati neke od tih lekcija iz prirode u projektiranje jata nanobrodova koji bi jednog dana mogli putovati do drugih planeta i zvijezda.

Ideja nanobrodova bliska je Pentagonovom projektu inteligentne prašine, milijardama čestica opremljenim sitnim senzorima koje se raspršе zrakom te sakupljaju informacije. Nijedan senzor nije sam za sebe dostatan, no kolektivno sakupe goleme količine informacija. Pentagonova agencija DARPA financirala je taj projekt zbog mogućnosti primjene u vojne svrhe, primjerice za nadziranje neprijateljskih pozicija na ratištu. 2007. i 2009. zračne snage objavile su detaljne planove za projekte u nadolazećim desetljećima, od naprednih verzija Predatora (koji koštaju 4,5 milijuna dolara po komadu) do rojeva sitnih senzora čija cijena ne prelazi nekoliko kuna.

Znanstvenici su se također zainteresirali za taj projekt. Inteligentnu prašinu mogli bi koristiti za nadgledanje tisuća lokacija tijekom uragana, oluja, vulkanskih erupcija, potresa, požara i drugih prirodnih fenomena. U filmu Twister, primjerice, pratimo grupu lovaca na oluje koji riskiraju život pokušavajući postaviti senzore oko tornada. Takav način prikupljanja informacija nije vrlo učinkovit. Umjesto šačice znanstvenika koji postavljaju senzore tijekom tornada ili erupcije vulkana kako bi izmjerili temperaturu, vlažnost i brzinu vjetra, inteligentna prašina može prikupiti informacije s tisuću različitih pozicija. Nakon što se ti podaci unesu u računalo, mogu se dobiti informacije o razvitku uragana ili tornada u tri dimenzije. Ti sitni senzori, ponekad ne veći od glave igle, počinju se reklamirati i u komercijalne svrhe.

Jedna od brojnih prednosti nanobrodova jest mala količina goriva potreba za njihovo lansiranje u svemir. Umjesto golemih raketa koje mogu dostići brzinu od samo 40 000 km/h relativno je jednostavno odaslati sitne predmete u svemir nevjerojatnim brzinama. Subatomske čestice gotovo da mogu dostići brzinu svjetlosti kad ih pokreću jednostavna električna polja. Te nanočestice imaju sitan električni naboj koji se lako ubrza uporabom električnih polja.

Umjesto golemih sredstava koja su potrebna za lansiranje sonde na neki mjesec ili planet, te nanosonde imale bi sposobnost samorepliciranja, čime bi mogle stvoriti cijelu tvornicu ili čak bazu. Te samoumnažajuće sonde bi se zatim lansirale kako bi istražile nove svjetove. Problem je u stvaranju prve samoreplicirajuće nanosonde, projekt do čijeg će ostvarenja doći u dalekoj budućnosti.

NASA je 1980. na Sveučilištu u Santa Clari pokrenula specijalno istraživanje samoumnažajućih sondi nazvano Napredna automatika za svemirske misije. Proučavalo se nekoliko mogućnosti vezanih uz te sonde. Jedna ideja bila je lansirati sitne samoumnažajuće robote na Mjesec. Tamo bi robot koristio samo tlo za stvaranje beskrajnog broja kopija samog sebe.

Većina projekta bila je usmjerena na građenje kemijske tvornice koja bi se bavila obradom Mjesečevog kamenja (regolita). Robot bi sletio na Mjesec, rastavio se i sastavio svoje dijelove u obliku tvornice, slično igračkama Transformeri. Primjerice, robot bi mogao stvoriti golema zrcala koja bi Sunčevu svjetlost usmjerila prema kamenju te ga rastopila. Zatim bi koristili crpljenje fluorovodične kiseline za početak procesiranja regolita za ekstrakciju korisnih minerala i materijala. Metali bi se zatim mogli iskoristiti za izgradnju baze na Mjesecu. Naposljetku bi roboti sagradili malenu tvornicu u kojoj bi se replicirali.

Na temelju tog istraživanja NASA-in je Institut za napredne zamisli 2002. financirao niz projekata vezanih uz samoreplicirajuće robote. Mason Peck sa Sveučilišta Cornell jedan je od znanstvenika koji su se posvetili ideji čipa kao svemirskog broda.

Imao sam priliku posjetiti Pecka u njegovom laboratoriju, s radnom stanicom punom sastavnih dijelova koji bi se mogli poslati u orbitu. Pored radne stanice nalazi se mala, čista soba s zidovima prekrivenim plastikom, u kojoj se sastavljaju osjetljivi dijelovi satelita.

Njegova vizija svemirskog istraživanja posve je drugačije od one koju nam serviraju holivudski filmovi. On zamišlja mikročip, veličine jednog centimetra i težine jednog grama, koji bi mogao ubrzati od 1 do 10 posto brzine svjetlosti, iskorištavajući efekt praćke koju NASA koristi za lansiranje svemirskih letjelica nevjerojatnom brzinom. Taj manevar lansiranja svemirske letjelice oko planeta, poput kamena iz praćke, koristi gravitaciju planete kako bi se povećala brzina letjelice.

Umjesto gravitacije Peck želi iskoristiti magnetsku silu. Njegova ideja je lansirati mikročip oko Jupiterovog magnetskog polja, koje je 20 000 puta jače od Zemljinog polja. On planira ubrzati svoj nanobrod magnetskom silom koja se koristi za lansiranje subatomskih čestica do bilijuna elektronvolti u strojevima za cijepanje elektrona.

Pokazao mi je jednostavni čip koji bi se jednog dana mogao kretati oko Jupitera. Riječ je bila o malom kvadratu, manjem od vrška prsta, punom strujnih krugova. Njegov svemirski brod bio bi iznimno jednostavan. S jedne strane čipa nalazila bi se solarna ćelija namijenjena prikupljanju energije za komunikaciju. S druge strane našao bi se radio odašiljač, kamera i drugi senzori. Svemirski brod ne bi imao motor već bi ga isključivo pokretalo magnetsko polje Jupitera (Institut za napredne zamisli, koji je financirao taj i druge inovativne svemirske projekte od 1998. je uslijed rezanja proračuna NASA-e 2007. zatvoren).

Peckova vizija svemirskog broda veliko je odstupanje od njihovih prikaza u znanstvenoj fantastici, gdje golemi svemirski brodovi polagano putuju svemirom upravljani od strane skupine hrabrih astronauta. Kad bi se sagradila baza na Jupiterovom mjesecu, brojni čipovi mogli bi biti lansirani u orbitu goleme planete. Kad bi se na istom mjesecu sagradili i laserski topovi, tad bi se snagom udara svjetla lasera čipovi ubrzali dok ne bi dostigli određeni postotak brzine svjetlosti.

U tom trenutku postavio sam mu jednostavno pitanje: je li moguće, koristeći nanotehnologiju, smanjiti čipove na veličinu molekule? U tom slučaju bi se za ubrzavanje letjelica umjesto Jupiterovih magnetskih polja mogli koristiti strojevi za cijepanje atoma postavljeni na našem Mjesecu koji bi ispaljivali sonde veličine molekula brzinom koja bi se približavala brzini svjetlosti. Složio se da ta mogućnost dolazi u obzir, no da njene detalje nije još razradio.

Uzeli smo papir u ruke te zajedno počeli rad na jednadžbama (tako izgleda interakcija među znanstvenicima, na ploči ili listu papira rješavamo problem kroz jednadžbe). Zapisali smo jednadžbu Lorentzove sile, koju Peck koristi za ubrzavanje svojih čipova oko Jupitera, zatim umanjili te čipove na veličinu molekula te ih postavili u hipotetski akcelerator sličan Velikom hadronskom sudaraču u CERN-u. Jednadžba je pokazala kako bi se nanobrod zaista mogao ubrzati gotovo do brzine svjetlosti isključivo pogonom klasičnog akceleratora postavljenog na Mjesecu. Budući da bismo da bi reducirali veličinu našeg svemirskog broda s veličine čipa na veličinu molekule, mogli bismo koristiti uobičajeni akcelerator umjesto stroja veličine Jupitera. Naizgled se činilo da bi naša ideja zaista mogla upaliti.

Nakon detaljnije analize jednadžbi, složili smo se da je stabilnost tih osjetljivih nanobrodova jedini problem na koji bismo mogli naići. Bi li akceleratori naposljetku rastrgali molekule? Kao kugla koju vrtimo na konopcu, centrifugalna sila djelovala bi na te molekule dok bi se približavale brzini svjetlosti. Te molekule bi također imale električni naboj te bi ih i električna sila mogla rastaviti. Došli smo do zaključka da su nanobrodovi definitivno izvediv projekt, no potrebna su još

desetljeća istraživanja kako bi se uspješno smanjili Peckovi čipovi i dovoljno osnažili da se ne dezintegriraju pri ubrzanju prema brzini svjetlosti.

San Masona Pecka je poslati roj čipova prema najbližoj zvijezdi, u nadi da će neki od njih zaista prevaliti međuzvjezdano putovanje. No, koja je njihova zadaća kad zaista dođu do svoje destinacije?

Tim pitanjem bavi se Pei Zhang sa Sveučilišta Carnegie Mellon u Silicijskoj dolini. On je stvorio flotu mini-helikoptera koji bi jednog dana mogli završiti na nekoj drugoj planeti. Ponosno mi je pokazao svoju flotu robota, koji nalikuju helikopterima igračkama. No, njihov izgled može zavarati. Vidio sam kako je u središtu svakog helikoptera čip složenije tehnologije. Jednim pritiskom gumba četiri helikoptera vinula su se u zrak, svaki u svom pravcu, sakupljajući informacije putem. Uskoro su me okružili helikopteri.

Svrha te flote robota je u pružanju pomoći u iznimnim situacijama kao što su vatre i eksplozije, kroz nadgledanje i sakupljanje informacija. S vremenom, ti bi roboti mogli biti opremljeni kamerama i senzorima koji bi detektirali temperaturu, pritisak, smjer vjetra i slične informacije koje bi mogle biti od velike važnosti u hitnim slučajevima. Tisuće tih robota mogle bi se ispustiti nad ratištima, požarima i vanzemaljskim terenom. Ti roboti također mogu uspostaviti komunikaciju među sobom. Ako jedan od njih naiđe na prepreku, on pošalje informacije drugim robotima.

Jedno od mogućih rješenja u putovanju svemirom tisuće su jeftinih, jednokratnih čipova koje osmišljavaju ljudi kao što je Mason Peck i koje bismo mogli brzinom svjetlosti lansirati prema najbližim zvijezdama. Kad bi dio njih sletio na površinu, razvili bi krila te letjeli površinom stranog terena kao Pei Zhangova flota robota. Oni bi prikupljene informacije slali natrag na Zemlju. Kad bi se pronašao odgovarajući planet, mogla bi se odaslati sljedeća generacija robota. Oni bi sagradili tvornice na tom planetu koje bi zatim generirale kopije robota, a oni bi potom krenuli prema sljedećoj zvijezdi. Taj proces nastavljao bi se u nedogled.

EGZODUS SA ZEMLJE

Velika je vjerojatnost da ćemo do 2100. poslati astronaute na Mars i asteroidni pojas, istražiti Jupiterove mjesece, te započeti prve korake u slanju sonde prema zvijezdama.

No što s čovječanstvom? Hoćemo li graditi kolonije u svemiru kako bismo smanjili preveliku zagušenost Zemlje? Hoće li ljudska rasa napustiti Zemlju do 2100.?

Ne. S obzirom na cijenu, 2100. godine, a i kasnije, većina ljudi neće imati priliku posjetiti druge planete. Iako će nekolicina astronauta sagraditi baze na nekim od planeta, čovječanstvo će još biti osuđeno na život na Zemlji.

S obzirom da će Zemlja ostati ljudski dom još nekoliko stoljeća, postavlja se pitanje kako će civilizacija napredovati. Kako će znanost utjecati na naš stil života, naš posao, naše društvo? Znanost je motor napretka, te se postavlja pitanje kako će oblikovati civilizaciju i bogatstvo u budućnosti.

7. BUDUĆNOST BLAGOSTANJA

Pobjednici i gubitnici

Tehnologija i ideologija tresu temelje kapitalizma 21. stoljeća. Tehnologija čini znanja i vještine jedinim izvorima održivog razvoja.

— LESTER THUROW

U mitologiji, usponi i padovi velikih carstava ovisili su o snazi i sposobnosti njihovih vojski. Veliki vojskovođe Rimskog Carstva molili su se prije odlaska u odlučujuće vojne pohode u hramu Marsa, boga rata. Legendarno Thorovo junaštvo nadahnjivalo je Vikinge u njihovim herojskim bitkama. Antički narodi gradili su velike hramove i spomenike u čast bogovima, slaveći pobjede u bitkama protiv svojih neprijatelja.

Ako, međutim, analiziramo istinske uspone i padove velikih civilizacija, nailazimo na sasvim drugačiju priču.

Da ste vanzemaljac s Marsa koji je 1500. posjetio Zemlju i vidio sve njezine tadašnje civilizacije, za koju biste pomislili da će u budućnosti zavladati svijetom? Europska bi sasvim sigurno bila posljednja na koju biste pomislili.

Na istoku biste zatekli, dotad već višetisućljetnu, veliku kinesku civilizaciju. Dugačak popis važnih izuma poteklih iz Kine je nenadmašiv: papir, tisak, barut, kompas... Njeni su znanstvenici najbolji na planetu, a vlast ujedinjena i stabilna na čitavom teritoriju.

Na jugu imate Osmansko Carstvo koje samo što nije pokorilo Europu. Ta velika muslimanska civilizacija podarila je svijetu algebru, napredak na poljima optike, fizike i astronomije. Znanost i umjetnost su u procvatu, moćna osmanska vojska nema dostojnog protivnika, a Istambul je jedno od najvećih svjetskih znanstvenih središta.

Nasuprot tome imate bijedne europske zemlje izmučene vjerskim fundamentalizmom, progonom vještica i Inkvizicijom. Zapadna Europa, u tisućgodišnjem strmom padu nakon propasti Rimskog Carstva, toliko je zaostala da tehnologiju uglavnom uvozi. Ona je crna rupa srednjeg vijeka. Većina znanja iz doba Rimskog Carstva već je odavno izgubljena i zamijenjena vjerskim dogmama koje guše napredak. Protivljenje dogmama i drugačije mišljenje "ispravlja" se mučenjem. Uz to, europski gradovi-države u stalnim su međusobnim ratovima.

I što se događa?

I Kinesko i Osmansko Carstvo ulaze u petstoljetno razdoblje tehnološkog zastoja, dok Europu zahvaća neviđeni razvoj znanosti i tehnologije.

1405. Kineski car Yongle naredio je 1405. svojoj velikoj pomorskoj floti, najvećoj koju je svijet ikada vidio, da krene u istraživanje svijeta. (Tri malena broda Kolumbove flote stala bi na palubu samo jednog od tih kolosalnih plovila.) Pokrenuto je sedam velikih ekspedicija, sve jedna veća od druge, u kojima je carska flota oplovila obale jugoistočne Azije, dosegla do Afrike, Madagaskara, a možda i dalje. Flota se vratila s bogatim teretom raznovrsne robe, poslastica i egzotičnih životinja iz udaljenih krajeva Zemlje. Postoje znameniti drevni drvorezi afričkih žirafa u šetnji zoološkim vrtom dinastije Ming.

Ali vladari Kine bili su i razočarani. Zar je to sve čemu su se mogli nadati? Gdje su velike vojske koje bi se mogle nadmetati s kineskom? Zar su egzotična hrana i neobične životinje sve što ostatak svijeta ima za ponuditi? Izgubivši interes, nadolazeći vladari Kine dopustili su slabljenje i konačno nestanak njihove velike pomorske flote. Kina se postupno izolirala od vanjskog svijeta, stagnirajući dok je svijet napredovao.

Slično se dogodilo i s Osmanskim Carstvom. Pokorivši većinu svijeta za koji su znali, Osmanlije su se okrenuli unutrašnjim pitanjima. Zavladali su vjerski fundamentalizam i stoljeća stagnacije. Bivši premijer Malezije, Mahathir Mohamad, rekao je: "Velika islamska civilizacija počela je slabiti kada su muslimanski učenjaci protumačili da se stjecanje znanja koje propisuje Kur'an odnosi samo na znanje o vjeri, a da je sve ostalo znanje neislamsko. Kao rezultat toga Muslimani su zanemarili proučavanje prirodnih znanosti, matematike, medicine i drugih takozvanih svjetovnih disciplina. Umjesto toga, mnogo su vremena posvećivali učenju i tumačenjima Islama, islamskom pravu i običajima, što je dovelo do razjedinjenja i osnivanja mnogobrojnih sekti, kultova i različitih škola.

U Europi je, međutim, započinjalo veliko buđenje. Trgovina je donijela svježe, revolucionarne ideje čije širenje je ubrzano Gutenbergovim izumom tiskarskog stroja. Moć Crkve počela je slabiti nakon tisućljetne dominacije. Sveučilišta su se polako okretala od tumačenja nejasnih dijelova Biblije, a prema primjeni Newtonove fizike i Daltonove kemije. Povjesničar Paul Kennedy s Yalea još jednim čimbenikom velikog uspona Europe smatra stalnu zaraćenost podjednakih snaga u Europi, od kojih nijedna nikada nije mogla vladati cijelim kontinentom. U stalnom međusobnom ratu, europski vladari poticali su razvoj znanosti i tehnologije koje bi mogle pomoći njihovim teritorijalnim pretenzijama. Znanost nije služila samo za akademske rasprave, nego i za osmišljavanje novih oružja i novih načina stjecanja bogatstva.

Uskoro je razvoj znanosti i tehnologije u Europi počeo slabiti snagu Kine i Osmanskog Carstva. Islamska civilizacija koja se stoljećima razvijala kao trgovački posrednik između Istoka i Zapada počela je posrtati kada su europski moreplovci pronašli putove prema Novom svijetu i nove putove prema Istoku oko Afrike, zaobilazeći Bliski istok. A Kinu su, ironično, raskomadali europski brodovi opremljeni topovima, koristeći dva izvorno kineska izuma – barut i kompas.

Odgovor na pitanje "Što se dogodilo?" je jasan. Znanost i tehnologija su se dogodile. One su pokretač napretka. Naravno, znanost i tehnologiju možete zanemariti, ali na vlastitu štetu. Svijet neće čekati dok vi proučavate svoju vjeru. Ako ne ovladate najnovijim znanjima i tehnologijama, ovladat će vaši takmaci.

OVLADAVANJE ČETIRIMA SILAMA

Kako je, dakle, neočekivani pobjednik Europa najednom prestigla Kinu i islamski svijet nakon stoljeća zaostajanja? Postoje društveni i tehnološki čimbenici tog izvanrednog prevrata.

Analizirajući povijest svijeta nakon 1500., uviđamo da je Europa bila zrela za veliki napredak, ukidanjem feudalizma, uzletom trgovačke klase i nošena vjetrovima renesanse. Fizičari, međutim, gledaju taj veliki preobražaj kroz prizmu četiriju temeljnih sila koje upravljaju svemirom. Pomoću tih sila moguće je objasniti sve oko nas, od strojeva, raketa i bombi do zvijezda i samog svemira. Promjena društvenih tokova možda je osigurala pozornicu za veliki preobražaj, ali znanje o temeljnim silama je ono što je Europu poguralo na čelo svjetskog poretka.

Prva je gravitacijska sila koja nas veže uz tlo, sprječava da Sunce eksplodira i drži Sunčev sustav na okupu. Druga je elektromagnetska sila koja osvjetljava naše gradove, pokreće naše generatore i strojeve, lasere i računala. Treća i četvrta su slaba i jaka nuklearna sila koje održavaju atomske jezgre na okupu, od kojih potječe svjetlost zvijezda na nebu i koje pokreću nuklearne procese u središtu Sunca. Sve četiri sile otkrivene su u Europi.

Razumijevanjem svake od tih sila promijenila se povijest ljudskog roda, a Europa je bila u najboljem položaju da iskoristi novo znanje. Kada je Isaac Newton vidio jabuku kako pada i zagledao se u Mjesec, postavio si je pitanje koje je promijenilo ljudsku povijest: "Pada li i Mjesec poput jabuke?" U trenutku nadahnuća, dok su mu bile 23 godine, shvatio je da je sila koja djeluje na jabuku ista ona koja djeluje na planete i komete na nebu. To mu je omogućilo da, koristeći diferencijalni i integralni račun koje je upravo osmislio, odredi putanje planeta i njihovih mjeseca, i da po prvi put zaista riješi zagonetku nebeskih gibanja. Svoje glavno djelo, Principia, koje mnogi usprkos osporavanjima i danas smatraju najvažnijom znanstvenom knjigom ikad napisanom i jednom od najutjecajnijih knjiga u ljudskoj povijesti, objavio je 1687. godine.

Što je još važnije, Newton je uveo novi način razmišljanja, mehaniku kojom se moglo odrediti putanje tijela pomoću sila. Više nismo bili podložni hirovima duhova, demona i sablasti; umjesto toga tijela su se kretala pod utjecajem dobro definiranih sila koje su se mogle mjeriti i iskoristiti. Rođena je Newtonova mehanika pomoću koje su znanstvenici mogli vrlo točno predvidjeti ponašanje strojeva, što je utrlo put parnom stroju i razvoju željeznice. Složena dinamika parnih strojeva mogla se sustavno razložiti, do zadnjeg vijka i poluge, i objasniti pomoću Newtonovih zakona. Newtonovo djelo omogućilo je industrijsku revoluciju u Europi.

Nakon toga u 19. stoljeću, opet u Europi, otkrića Michaela Faradaya, Jamesa Clerka Maxwella i drugih na području elektromagnetizma omogućuju sljedeću veliku revoluciju. Kad je Thomas Edison sagradio generatore u Pearl Street Station u donjem Manhattanu i po prvi put uveo električnu struju u neku ulicu, otvorio je vrata elektrifikaciji čitavog svijeta. Danas iz svemira možemo vidjeti kako je Zemlja noću osvijetljena i prepoznati obrise njenih kontinenata. Svakom vanzemaljcu koji baci pogled na Zemlju odmah je jasno da su Zemljani ovladali elektromagnetizmom. Koliko nam elektromagnetizam znači shvatimo svaki put kad nestane struje i odjednom se vratimo sto godina u prošlost, bez kreditnih kartica, računala, svjetla, dizala, TV-a, radija, interneta, elektromotora, itd.

I naposljetku, nuklearne sile, koje su također otkrili europski znanstvenici, mijenjaju sve oko nas. Ne samo da su nam otključale tajne nebesa, otkrivajući izvor energije koji daje život zvijezdama, nego i mnoge tajne o nama samima kroz primjenu u medicini (magnetska rezonancija, CAT i PET skeniranje, terapija zračenjem, nuklearna medicina). Budući da nuklearne sile obuzdavaju golemu energiju pohranjenu u atomima, one bi u konačnici mogle odrediti sudbinu čovječanstva. Ili ćemo dalje napredovati obuzdavajući i koristeći neograničen izvor fuzijske energije, ili ćemo nestati u paklu neke nuklearne katastrofe.

BLISKA BUDUĆNOST (OD DANAS DO 2030.)

ČETIRI STUPNJA TEHNOLOŠKOG RAZVOJA

Splet društvenih promjena i ovladavanja četirima silama ustoličio je Europu na čelu svjetskog poretka. Međutim, i tehnologije imaju svoju dinamiku, stalno se mijenjaju. Rađaju se, razvijaju, imaju svoje uspone i padove. Da bismo predvidjeli kako će se pojedine tehnologije mijenjati u bliskoj budućnosti, korisno je uočiti neke pravilnosti u razvoju dosadašnjih tehnologija.

Masovne tehnologije obično se razvijaju u četiri osnovna stupnja. To je vidljivo u razvoju papira, vodovoda, električne struje i računala. Na prvom su stupnju proizvodi nove tehnologije iznimno dragocjeni i vrlo zaštićeni. Kad su stari Egipćani, a onda i Kinezi prije više tisuća godina izumili papir u obliku svitka papirusa, svaki je svitak bio toliko dragocjen da su ga čuvali svećenici. Ta je skromna tehnologija pokrenula antičku civilizaciju.

Drugi stupanj u razvoju papira započeo je oko 1450., kad je Gutenberg izumio tiskarski stroj. To je omogućilo posjedovanje vlastitog primjerka knjige u kojoj je moglo biti sadržano znanja koliko i na stotinama svitaka papira. Prije Gutenberga u cijeloj Europi bilo je oko 30 000 knjiga. Do 1500. bilo ih je 9 milijuna, što je probudilo intelektualne potencijale i potaklo razvoj renesanse.

Oko 1930. papir ulazi u treći razvojni stupanj padom cijene papira na jedan peni po listu. To je omogućilo posjedovanje osobnih biblioteka, tj. netko je mogao posjedovati stotine knjiga. Papir je postao obična roba koja se prodavala na tone. Postao je sveprisutan. Danas smo u četvrtom razvojnom stupnju papira kad ga koristimo i kao modni izričaj. Svoj svijet ukrašavamo papirima svih boja, oblika i veličina. Najveću količinu gradskog otpada čini upravo papir. Dakle, papir je od dragocjene i strogo čuvane robe postao otpad.

Isto vrijedi i za vodovod. U antička vremena, u prvom razvojnom stupnju, voda je bila tako dragocjena da je čitavo selo dijelilo jedan izvor. I tako je bilo tisućama godina, sve do 1900-tih kada su se pojavili prvi privatni cjevovodi, čime je započeo drugi stupanj. Nakon Drugog svjetskog rata vodovod je ušao u treći stupanj postavši jeftin i dostupan brzo rastućoj srednjoj klasi. Danas je vodovod na četvrtom stupnju kad može poslužiti i kao modni izričaj, u raznim izvedbama, veličinama i primjenama. Svoju okolinu ukrašavamo vodom, u obliku fontana i vodenih izložbi.

I električna struja je prošla kroz iste razvojne stupnjeve. U samim začetcima prvog stupnja, u doba Thomasa Edisona i drugih pionira na području elektriciteta, svaka je tvornica imala samo jednu žarulju i samo jedan elektromotor. Nakon Prvog svjetskog rata ušli smo u drugi stupanj kad su žarulje i elektromotori ušli u prva kućanstva. Danas sa električnom strujom živimo i ne primjećujući je. Čak je i riječ “električna struja” pomalo nestala iz svakodnevnog govora. Na Božić ukrašavamo domove stotinama trepćućih žaruljica. U žicama unutar naših zidova teče skrivena, ali sveprisutna električna struja. Ona osvjetljava Broadway i ukrašava naš svijet.

Na četvrtom razvojnom stupnju i tekuća voda i električna struja postale su roba široke potrošnje. Koliko su jeftine i koliko ih mnogo koristimo možemo svakodnevno provjeriti na brojilima kojima mjerimo njihov dotok u naš dom.

Isti obrazac slijede i računala. Tvrtke koje su to shvatile ostvarile su rast i dobit, a one koje nisu dogurale su na rub bankrota. IBM je dominirao prvim razvojnim stupnjem 1950-ih sa svojim

velikim i skupim računalima (koja su zauzimala čitavu prostoriju). Jedno takvo računalo bilo je toliko dragocjeno da ga je dijelilo stotinu znanstvenika i inženjera. Međutim, uprava IBM-a nije ozbiljno shvatila Mooreov zakon (koji kaže da se broj tranzistora koji se mogu ugraditi u jedan čip udvostručuje otprilike svake dvije godine) pa su skoro bankrotirali na ulazu u drugi razvojni stupanj 1980-ih, pojavom osobnih računala.

No, čak su se i proizvođači osobnih računala previše opustili nakon što su osmislili svijet međusobno nezavisnih stolnih računala. Bili su nespremni za treći stupanj koji je nastupio pojavom interneta i umreženih računala pomoću kojih je pojedincu omogućena komunikacija s milijunima drugih računala i njihovih korisnika. Danas računalo koje nije umreženo možete pronaći samo u muzeju.

Dakle, ono što slijedi u razvoju računala je četvrti stupanj u kojem će i računalo poslužiti u modne svrhe, kad ćemo svijet ukrašavati računalima. Sama riječ "računalo" postupno će nestati iz svakodnevnog govora. U budućnosti najveći dio gradskog otpada neće biti papir, nego računalni čipovi. Budućnost računala jest da postane roba široke potrošnje, koju će se prodavati na isti način kao i vodu ili električnu struju. Računalni čipovi će postupno nestati iz široke uporabe jer će se svi računalni zadaci moći obavljati na internetu.

Dakle, razvoj računala nije misterij, on slijedi dobro ugažene putove prijašnjih tehnologija, kao što su električna struja, vodovod i papir.

Međutim, računala i internet još se uvijek razvijaju. Kad su ekonomista Johna Steelea Gordona pitali je li računalna revolucija završila, on je rekao: "Zaboga, ne! Trebat će još stotinu godina dok se ne odigra do kraja, kao što je bilo i sa parnim strojem. Mi smo sada s internetom na stupnju u kojem je razvoj parnog stroja bio 1850-ih pojavom željeznice. To je tek početak."

Treba naglasiti da sve tehnologije ipak ne uđu u treći i četvrti razvojni stupanj. Na primjer, lokomotiva. Mehanizirani prijevoz ušao je u prvi stupanj 1800-tih godina pojavom parne lokomotive. Jedna lokomotiva je vukla kompoziciju za stotinu putnika. Na drugi smo stupanj došli pojavom "osobnih lokomotiva" tj. automobila početkom 1900-tih godina. Ali, lokomotiva i automobil (u osnovi kutija na tračnicama ili na kotačima) nisu se mnogo promijenili u posljednjim desetljećima. Jedino su nastupila neka poboljšanja kao što su snažniji i učinkovitiji pogonski motori i bolja infrastruktura. Tehnologije koje ne mogu ući u treći i četvrti stupanj bivaju osuvremenjene tako da se primjerice u njih ugrade čipovi kako bi bile "pametne". Neke tehnologije napreduju sve do četvrtog stupnja, kao primjerice električna struja, računala, papir i vodovod. Druge ostaju u nekom prijelaznom stupnju, ali se dalje razvijaju povećanjem učinkovitosti i ugrađivanjem suvremenih poboljšanja kao što su čipovi.

ČEMU BALONI I KRAHOVI?

Danas, na ispraćaju velike recesije iz 2008., neki govore da je sav taj napredak bio iluzija, da se moramo vratiti u jednostavnija vremena i da je nešto trulo u temeljima sustava.

Učeći iz povijesti, moramo očekivati i nepredvidive događaje, balone i tržišne slomove koji kao da se pojavljuju niotkud. Čine se slučajnima, plodom neodlučnosti i ljudske gluposti. Povjesničari i ekonomisti su mnogo pisali o slomu iz 2008., pokušavajući ga objasniti preispitujući razne moguće uzroke kao što su ljudska narav, pohlepa, korupcija, nedostatak propisa, slab nadzor, itd.

Ja, međutim, na veliku recesiju gledam drugačije, kroz prizmu znanosti. Dugoročno, znanost je pokretač napretka. Primjerice, Oxfordska enciklopedija povijesti ekonomije citira studije koje "90 posto rasta prihoda u Engleskoj i SAD-u nakon 1780. pripisuju tehnološkim inovacijama, a ne pukom nagomilavanju kapitala".

Bez znanosti bismo bili bačeni tisuće godina unatrag, u mračnu prošlost. Ali napredak znanosti nije jednolik, nego dolazi u valovima. Neki osnovni izum (npr. parni stroj, žarulja, tranzistor) često potakne niz sekundarnih izuma koji onda pokrenu lavinu promjena i napretka. Budući da donose veliku zaradu, ti valovi bi se trebali odraziti i u ekonomiji.

Prvi veliki val započeo je izumom parnog pogona, koji je za posljedicu imao pojavu željeznice. Parni pogon pokretao je Industrijsku revoluciju koja će preobraziti društvo i donio neslućeno bogatstvo. No, u kapitalizmu bogatstvo nikad ne miruje. Ono se mora nekamo usmjeriti. Kapitalisti neprestano vrebaju novu priliku da preusmjere i povećaju svoje bogatstvo ulažući u sve nesigurnije poslovne projekte, ponekad s katastrofalnim posljedicama.

Ranih 1800-tih godina velik dio viškova nastalih u vrijeme parnog pogona i Industrijske revolucije uložen je u dionice željeznice na Londonskoj burzi. Balon se počeo formirati već pojavom prvih rezultata željezničarskih tvrtki na Londonskoj burzi. Virginia Postrel, autorica poslovnog priloga u New York Timesu, piše: "Prije jednog stoljeća polovica vrijednosnih papira na Newyorkškoj burzi otpadalo je na željezničarske tvrtke." Budući da je željeznica bila još u povojima, taj je balon bio neodrživ pa je naposljetku prsnuo rezultirajući jednim od najvećih krahova u povijesti kapitalizma. Nakon toga je uslijedio niz manjih krahova koji su se pojavljivali gotovo svakog desetljeća, kao posljedica viškova koje je izrodila Industrijska revolucija.

Ima tu jedna ironija: procvat željeznice bio je 1880-ih i 1890-ih godina. Dakle, za krah iz 1850. odgovorni su spekulativna groznica i bogatstvo koje je donijela znanost, a glavnina posla u povezivanju svijeta željeznicom tek je prethodila u narednim desetljećima.

Thomas Friedman napisao je: "U 19. stoljeću Amerika je doživjela željeznički procvat, balon i propast... Ali i nakon prsnuća tog balona, Americi je ostala željeznička infrastruktura koja je dramatično pojednostavila i pojeftinila transkontinentalni prijevoz robe i putnika."

Umjesto da kapitalisti izvuku pouku iz svega, takav se scenarij uskoro počeo ponavljati. Drugi veliki val tehnološkog napretka se proširio vođen električnom i automobilskom revolucijom Edisona, odnosno Forda. Elektrifikacija tvornica i kućanstava i linijska proizvodnja Modela T ponovo je stvorila veliko bogatstvo. Kao i uvijek, viškovi su se nekamo morali uložiti. Taj put uloženi su u Američku burzu u obliku balona dionica roba široke potrošnje i automobila. Ljudi su zanemarili pouku kraha iz 1850. koji je bio prije osamdeset godina, u maglovitoj prošlosti.

Od 1900. do 1925. broj tvornica automobila dosegao je 3000, što tržište jednostavno nije moglo podnijeti. I taj je balon bio neodrživ. Zbog tog i drugih razloga, balon je prsnuo 1929. uzrokujući Veliku gospodarsku krizu.

Ironično je da će se izgradnja cesta i elektrifikacija Amerike i Europe dogoditi tek nakon kraha, tijekom 1950-ih i 1960-ih godina.

Nedavno smo imali treći veliki znanstveni val, dolaskom visoke tehnologije u obliku računala, lasera, svemirskih satelita, interneta i elektronike. Golemo bogatstvo stvoreno visokom tehnologijom moralo se nekamo usmjeriti. Taj put uloženo je u nekretnine, stvarajući veliki balon. Kad su cijene nekretnina skočile u nebo, ljudi su se počeli zaduživati u vrijednosti svojih domova,

koristeći ih kao kasice prasice, što je još više napuhalo balon. Nesavjesni bankari dolili su ulje na vatru olako dajući ljudima hipotekarne kredite. Ljudi su još jednom zanemarili pouku krahova iz 1850. i 1929., od prije 160, odnosno 80 godina. Konačno, novi je balon postao neodrživ pa smo doživjeli krah 2008. i veliku recesiju.

Thomas Friedman napisao je: "Na samom početku 21. stoljeća imali smo procvat, balon i sada slom financijskih usluga. Bojim se da će nakon svega ostati samo gomila praznih stanova koji nikada nisu ni smjeli biti izgrađeni, rabljenih privatnih zrakoplova koje si bogataši više ne mogu priuštiti i neutemeljenih vezanih ugovora koje nitko ne razumije."

No, unatoč svim ludostima vezanim uz nedavni slom, ironično je da će se ožičenje i umrežavanje svijeta dogoditi tek nakon kraha iz 2008. godine. Vrhunac informatičke revolucije tek slijedi.

To navodi na sljedeće pitanje: što će pokrenuti četvrti val? Nitko ne može sa sigurnošću reći. Mogla bi to biti kombinacija umjetne inteligencije, nanotehnologije, telekomunikacija i biotehnologije. Kao i u prijašnjim ciklusima, možda će trebati 80 godina da te tehnologije proizvedu plimni val velikog bogatstva. Nadajmo se da oko 2090. ljudi neće zanemariti pouku prethodnih osamdeset godina.

SREDINA STOLJEĆA (OD 2030. DO 2070.)

POBJEDNICI I GUBITNICI: POSLOVI

Kako se tehnologije razvijaju, uzrokuju nagle gospodarske promjene koje katkad dovode do preseljenja. Svaka revolucija ima pobjednike i gubitnike. To će postati jasnije do sredine stoljeća. Više nemamo kovače i kolare u svakom selu. Štoviše, ne žalimo nad izumiranjem mnogih takvih zanimanja. No, pitanje je: kakvi će poslovi doživjeti procvat do sredine stoljeća? Kako će razvoj tehnologije promijeniti način rada?

Djelomično možemo odgovoriti pitajući se sljedeće: gdje su granice robotima? Koliko vidimo, postoje najmanje dva kamena spoticanja za umjetnu inteligenciju: raspoznavanje oblika i razum. Stoga će u budućnosti opstati uglavnom oni poslovi koje roboti ne mogu izvoditi – oni koji zahtijevaju dvije spomenute sposobnosti.

Među manualnim radnicima, gubitnici će biti oni koji obavljaju šablonske poslove (npr. oni na pokretnim trakama u automobilskoj industriji) jer su roboti u tome nenadmašni. Računala se čine inteligentnima, ali to je samo zato što mogu računati milijun puta brže nego mi. Zaboravljamo da su računala samo profinjeni kalkulatori koji su najbolji u šablonskim poslovima. Zato su radnici na pokretnim trakama u automobilskoj industriji bili među prvima koji su trpjeli zbog računalne revolucije. To znači da će, u konačnici, nestati svaki tvornički posao koji se može svesti na niz programiranih pokreta koji se ponavljaju.

Neočekivano, mnogi će manualni poslovi preživjeti računalnu revoluciju i čak cvjetati. Pobjednici će biti oni koji izvode nešablonske poslove koji zahtijevaju raspoznavanje uzoraka. Sakupljači otpada, policajci, vrtlari i instalateri će imati posla. Da bi pokupili otpad iz kuća i stanova, sakupljači otpada moraju prepoznati vreće sa smećem, natovariti ih u kamion i otpremiti na odlagalište smeća. No, svaki komad otpada zahtijeva drugačiji način odlaganja. U građevinarstvu svaka radnja zahtijeva drugačiji alat, nacrt i obuku. Svako je gradilište drugačije, kao i poslovi na njemu. Policajci moraju istraživati čitav niz zločina u različitim okolnostima.

Štoviše, moraju razumjeti zločinačke motive i metode, što je daleko iznad mogućnosti bilo kojeg računala. Slično, svaki je vrt i svaki odvod drugačiji i zahtijeva drugačije vještine i alate vrtlara, odnosno instalatera.

Među uredskim radnicima gubitnici će biti oni koji se bave posredničkim poslovima, popisivanjem inventara i pedantnim prebrojavanjem. To znači da će niži poslovođe, brokeri, blagajnici, računovođe i sl. sve više dobivati otkaze s nestajanjem njihovih zanimanja. Ta se zanimanja nazivaju "trenjem kapitalizma". Već danas se može kupiti avionska karta pretražujući najpovoljnije ponude na webu, izbjegavajući turističke agente.

Poznata je izjava iz Merrill Lyncha da nikada neće prihvatiti trgovanje dionicama putem interneta, nego će to uvijek činiti na tradicionalan način. Vodeći broker Merrill Lyncha, John Steffens, rekao je: "Uradi sam način ulaganja, koji se oslanja na internetsko trgovanje, trebalo bi shvatiti kao ozbiljnu opasnost u financijskom životu Amerikanaca." Stoga je bilo ponižavajuće kada su prisiljeni tržišnim uvjetima 1999. morali prihvatiti trgovanje putem interneta. "Rijetko kada u povijesti je vodeća tvrtka u nekoj industriji bila primorana zaokrenuti smjer i, doslovno preko noći, prihvatiti bitno novi način poslovanja", napisao je Charles Gasparino iz ZDNet vijesti.

To također znači da će se poslovne piramide smanjiti. Budući da ljudi s vrha mogu izravno komunicirati s trgovcima i zastupnicima na terenu, smanjuje se potreba za posrednicima koji bi prenosili naloge vrha. Zapravo je taj proces započeo čim su osobna računala ušla u urede.

Kako će onda posrednici preživjeti u budućnosti? Morat će obogatiti svoj rad i isporučiti jedinu robu koju roboti ne mogu: zdrav razum.

Primjerice, u budućnosti ćete moći kupiti kuću na internetu pomoću sata ili kontaktne leće. Ali, nitko neće tako kupovati kuću, jer je to jedna od najvažnijih investicija u životu. U vezi s važnim kupnjama kao što je kupnja kuće želite razgovarati s nekim tko vam može reći gdje su dobre škole, gdje je stopa kriminala niska, kako radi sustav odvodnje, itd. Za to vam treba sposoban agent koji dodaje vrijednost.

Slično, burzovni mešetari na nižoj razini ostaju bez posla zbog trgovanja na internetu, ali burzovni mešetari koji daju argumentirane i mudre ulagačke savjete uvijek će biti traženi. Brokerski poslovi će i dalje nestajati, ako ne ponude usluge s dodanim vrijednostima, kao što su primjerice mudrost vrhunskih tržišnih analitičara i ekonomista ili zanatske tajne iskusnih brokera. U vrijeme kad internetsko trgovanje nemilosrdno snižava trošak trgovanja dionicama, burzovni mešetari će preživjeti samo ako ponude i svoje neopipljive kvalitete, kao što su iskustvo, znanje i analitičnost.

Dakle, pobjednici među uredskim radnicima će biti oni koji mogu pružiti korisno znanje, tj. radnici uključeni u stvaralački rad – umjetnički rad, gluma, komičarski rad, pisanje softvera, rukovodstvo, znanost, kreativne sposobnosti koje nas "čine ljudima".

Umjetnici će imati posla jer internet ima nezasitnu potrebu za kreativnom umjetnošću. Računala su izvrsna u kopiranju umjetnosti i pomaganju umjetnicima da uljepšaju umjetnost, ali su nemoćna u izmišljanju njezinih novih oblika, umjetnosti koja nadahnjuje, intrigira, izaziva emocije i oduševljava nas onako kako računala ne mogu jer sve to zahtijeva zdrav razum.

Romanopisci, pisci scenarija i kazališnih komada imat će posla jer moraju prikazati realistične prizore, ljudske sukobe, pobjede i poraze. Prikazivati ljudsku prirodu, što uključuje razumijevanje motiva i nakana, računalima je izvan dometa. Računala ne mogu prepoznati što nas

rasplače ili nasmijava jer ni sama ne plaču, niti se smiju, niti razumiju što je smiješno, a što tužno.

Ljudi koji se bave međuljudskim odnosima, kao što su odvjetnici, imat će posla.

Iako robot-odvjetnik može odgovoriti na osnovna pitanja o zakonu, sam zakon se stalno mijenja, ovisno o promjeni društvenih normi i običaja. Konačno, tumačenje zakona svodi se na vrijednosni sud, u čemu su računala manjkava. Kad bi zakoni bili nedvosmisleni, s jasnim tumačenjima, ne bi bilo potrebe za sudovima, sucima i porotama. Robot ne može zamijeniti porotu, jer porotnici često predstavljaju običaje neke zajednice, koji se s vremenom mijenjaju. To je bilo očito kada je sudac Vrhovnog suda Potter Stewart morao definirati pornografiju. Nije u tome uspio, ali je zaključio: “Da je vidim, prepoznao bih je.”

Nadalje, vjerojatno će biti protuzakonito da roboti zamijene pravni sustav, jer naš zakon sadrži temeljno načelo: da porotnici moraju biti iz nama ravnopravnih redova. Budući da nam roboti nisu ravnopravni, bit će protuzakonito da oni zamijene pravni sustav.

Na prvi pogled zakoni se mogu činiti strogima i dobro definiranima, s preciznim i strogim formulacijama i tajanstvenim naslovima i definicijama. Ali, to je samo na prvi pogled, jer se tumačenja tih definicija stalno mijenjaju. Ustav SAD-a se primjerice čini kao dobro definiran dokument, a ipak je Vrhovni sud stalno podijeljen oko spornih pitanja. Svaka riječ i izraz iz Ustava stalno su podvrgnuti reinterpretaciji. Promjenjivost ljudskih vrijednosti lako je uočljiva pogledom u povijest. Vrhovni sud SAD-a je primjerice 1857. presudio da robovi nikada ne mogu postati građani SAD-a. U stanovitom smislu trebao nam je Građanski rat i smrt tisuća ljudi da se ta odluka promijeni.

Rukovođenje će također biti traženo u budućnosti. Dijelom se rukovođenje sastoji od sagledavanja dostupnih informacija, stajališta i mogućnosti te odabira najprikladnijih, u skladu s određenim ciljevima. Rukovođenje postaje sve zahtjevnije jer se bavi nadahnjivanjem i usmjeravanjem radnika, ljudi koji imaju svoje vrline i slabosti. Svi ti čimbenici zahtijevaju visoko razumijevanje ljudske naravi, tržišnih uvjeta, i drugog što je izvan mogućnosti računala.

BUDUĆNOST ZABAVE

Također čitave industrije, kao što je primjerice industrija zabave, prolaze kroz duboke promjene. Primjerice, glazbena industrija se u davna vremena temeljila na osobnom pojavljivanju glazbenika koji su išli od mjesta do mjesta. Zabavljači su stalno bili na putu, postavljali pozornice i nakon nastupa odmah odlazili u drugo mjesto. Bio je to težak život, i slabo plaćen. Taj starinski obrazac naglo se promijenio kad je Thomas Edison izumio gramofon i zauvijek promijenio način na koji slušamo glazbu. Odjednom je glazbenik mogao snimiti ploču, koja se prodavala u milijunima primjeraka, i ostvariti dotada nezamisliv prihod. U samo jednoj generaciji rock izvođači bi postajali novi bogataši u društvu. Rock zvijezde koje su u prethodnoj generaciji bile obični konobari postale su obožavani idoli mladeži.

Nažalost, glazbena je industrija zanemarila predviđanja znanstvenika da će doći dan kad će se glazba lako moći slati putem interneta kao i elektronička pošta. Umjesto da osmisli način zarade prodajom na internetu, glazbena je industrija krenula u tužbe protiv laktaških tvrtki koje su nudile glazbu za samo djelić cijene CD-a. To je bilo ravno pokušaju isušivanja oceana. Trenutno je to uzrok previranja u glazbenoj industriji.

(Dobra strana je što se sada nepoznati glazbenici mogu uzdići do vrha, a da ne moraju trpjeti,

de facto, cenzuru velikih glazbenih kompanija. U prošlosti su glazbeni moćnici praktički mogli odlučivati tko će biti sljedeća velika rock zvijezda. Stoga će u budućnosti najbolji glazbenici biti birani na demokratičniji način, putem svim zainteresiranima dostupnog tržišta i tehnologija, a ne na temelju odluka direktora glazbene industrije.)

Novine se suočavaju sa sličnim teškoćama. Tradicionalno, novine su mogle računati na stalan prihod od oglašivača, posebno za priloge s oglasima. Prihodi nisu toliko dolazili od prodaje samih novina, nego od oglašivača koji su se u novinama oglašavali. Danas možemo besplatno preuzeti novine i oglašavati se na državnoj razini na brojnim internetskim oglasnicima. Kao posljedica toga novine diljem zemlje smanjuju opseg i nakladu.

Taj proces, međutim, ne može ići u nedogled. Toliko je buke na internetu, nadriproroka koji svakodnevno nešto proglašavaju svojoj publici, megalomana koji nastoje progurati čudne ideje, da će ljudi s vremenom početi cijeniti novi proizvod: mudrost. Nepovezane činjenice nemaju veze s mudrošću i ljudima će u budućnosti dosaditi prazne priče zaluđenih blogera pa će potražiti provjerene stranice koje nude taj rijedak proizvod: mudrost.

Kao što je ekonomist Hamish McRae rekao: "Velika većina tih 'informacija' su besmislice, poput neželjene pošte." Ali, tvrdi on: "Dobra procjena će i dalje biti vrlo cijenjena: uspješni financijski analitičari su, kao skupina, najbolje plaćeni istraživači na svijetu."

MATRIX

A što je s hollywoodskim glumcima? Hoće li se glumci, umjesto da budu slavne ličnosti i općedruštvena tema, naći na listama nezaposlenih? U posljednje vrijeme došlo je do značajnog napretka u računalnim animacijama ljudskog tijela koje izgledaju vrlo uvjerljivo. Animirani likovi sada imaju trodimenzionalni izgled i sjene. Hoće li, dakle, glumice i glumci uskoro postati suvišni?

Vjerojatno neće. Postoje ozbiljni problemi pri računalnoj animaciji ljudskog lica. Ljudi su razvili strahovitu sposobnost razlikovanja lica, jer nam je o tome ovisio opstanak. U tren oka morali smo prepoznati je li netko prijatelj ili neprijatelj. U nekoliko sekundi morali smo brzo odrediti nečiju dob, spol, snagu i raspoloženje. Oni koji to nisu mogli jednostavno nisu mogli preživjeti i prenijeti svoje gene na sljedeću generaciju. Zato ljudski mozak ulaže značajan dio svoje energije na čitanje ljudskih lica. Zapravo, većim dijelom svoje evolucijske povijesti, prije nego smo naučili govoriti, komunicirali smo gestama i govorom tijela, a velik dio moždane energije ulagali smo na traženje suptilnih znakova na licu. Računala, koja imaju problema s prepoznavanjem jednostavnih predmeta oko njih, imaju još većih problema u vjerodostojnom animiranju ljudskih lica. Djeca odmah znaju da je li lice s filmskog ekrana pravo ili je računalna simulacija. (To nas vraća na načela špiljskog čovjeka. Da možemo birati između gledanja neanimiranog popularnog akcijskog filma s našim najdražim glumcem i gledanja računalno animiranog crtanog akcijskog filma, još uvijek bismo izabrali ono prvo.)

Tijelo je, naprotiv, mnogo jednostavnije računalno oponašati. Kad u Hollywoodu stvaraju ona realistična čudovišta i izmišljene filmske likove služe se prečacem. Glumac obuče pripijeno odijelo koje ima senzore na spojevima. Kako se glumac pomiče ili pleše, senzori šalju signale u računalo koje onda stvara animirani lik koji izvodi precizne pokrete, kao u filmu Avatar.

Jednom sam govorio na konferenciji pod pokroviteljstvom Nacionalnog laboratorija Livermore, gdje se proizvodi nuklearno oružje i na večeri sjedio pokraj nekoga tko je radio na

filmu Matrix. Priznao mi je da su ogroman dio vremena rada računala potrošili na sjajne specijalne efekte u tom filmu. Jedna od najtežih scena zahtijevala je da rekonstruiraju zamišljeni grad koji nadlijeće helikopter. Kaže da bi uz dovoljno računalnog vremena mogao stvoriti cijeli izmišljeni grad. Ali, priznao je da ne bi mogao vjerno oblikovati ljudsko lice. Razlog tome je što se svjetlosna zraka koja padne na ljudsko lice raspršiu svim smjerovima, ovisno o njegovoj strukturi. Računalo mora pratiti svaki djelić svjetlosti. Stoga se svaku točku kože na nečijem licu mora opisati složenom matematičkom funkcijom, što zadaje jake glavobolje računalnom programeru.

Primijetio sam da to vrlo nalikuje fizici visokih energija, što je moja struka. U svojim akceleratorima čestica mi stvaramo snažan snop protona koji pogađa metu, pri čemu nastaje pljusak krhotina koje se raspršuju u svim smjerovima. Zatim uvodimo matematičku funkciju (tzv. form-faktor) koja opisuje pojedinu česticu. Napola se šaleći, upitao sam imaju li ljudsko lice i fizika elementarnih čestica štogod zajedničkoga. Da, odgovorio je. Računalni animatori u stvaranju lica koje vidimo na filmskom platnu koriste isti formalizam kao u fizici elementarnih čestica! Nikad nisam pomišljao da bi tajanstvene formule koje mi, teorijski fizičari, koristimo mogle jednog dana riješiti problem animacije ljudskog lica. Izgleda da je način na koji raspoznajemo ljudska lica sličan načinu na koji mi, fizičari, analiziramo subatomske čestice!

DALEKA BUDUĆNOST (OD 2070. DO 2100.)

UTJECAJ NA KAPITALIZAM

Te nove tehnologije o kojima smo raspravljali u ovoj knjizi toliko su moćne da će do kraja stoljeća sigurno imati utjecaja na sam kapitalizam. Zakoni ponude i potražnje su isti, ali uspon znanosti i tehnologije na više načina je promijenio kapitalizam Adama Smitha, od načina raspodjele dobara do same prirode bogatstva. Neki od izravnijih načina na koje je kapitalizam pogođen su sljedeći:

- **Savršeni kapitalizam**
  Kapitalizam Adama Smitha utemeljen je na zakonima ponude i potražnje: cijene se određuju kad je ponuda neke robe jednaka njenoj potražnji. Ako je nestašica neke tražene robe, onda njezina cijena raste. Ali, potrošač i proizvođač samo djelomično, nesavršeno poznaju ponudu i potražnju pa se cijene mogu jako razlikovati od mjesta do mjesta. Dakle, kapitalizam Adama Smitha je nesavršen. To će se, međutim, u budućnosti postupno promijeniti.
  "Savršeni kapitalizam" je kada proizvođač i potrošač imaju neograničeno poznavanje tržišta pa se cijene mogu savršeno odrediti. Na primjer, potrošači će u budućnosti moći pretražiti internet pomoću svojih kontaktnih leća i imati neograničeno poznavanje omjera uloženog i dobivenog. Veća sada možete pretraživati internet da biste pronašli najpovoljniju avionsku kartu. To će jednom biti moguće za sve što se na svijetu prodaje. Bilo pomoću naočala, zidnih zaslona ili mobitela, potrošači će moći saznati sve o bilo kojem proizvodu. Prolazeći primjerice kroz trgovinu mješovitom robom moći ćete pregledati izložene proizvode i pomoću kontaktne leće na internetu odmah provjeriti je li proizvod povoljan ili nije. Potrošači će biti u prednosti, jer će odmah znati sve o proizvodu – njegovu povijest, deklaraciju, cijenu u usporedbi s drugima i njegove prednosti i mane.
  I proizvođači imaju neke skrivene adute, kao što je primjerice rudarenje podataka u svrhu razumijevanja želja i potreba potrošača ili pretraživanje cijena robe na internetu. To otklanja mnoga nagađanja u formiranju cijena. Većinom je u prednosti potrošač koji odmah može usporediti bilo koji proizvod i koji zahtijeva najnižu cijenu. Proizvođač stoga mora

odgovoriti na zahtjeve potrošača koji se stalno mijenjaju.

•

Od masovne proizvodnje do masovne potrošnje

U sadašnjem sustavu dobra se stvaraju masovnom proizvodnjom. Henry Ford rekao je poznatu rečenicu, da kupac može kupiti Model T u bilo kojoj boji koja je crna. Masovna proizvodnja drastično je snizila cijene, zamjenjujući stari, neučinkoviti sustav obrtništva i ručne proizvodnje. Računalna revolucija će sve to promijeniti.

Danas, ako kupac nađe haljinu savršenog kroja i boje, ali neodgovarajuće veličine, nema kupovine. U budućnosti, naše točne 3-D mjere bit će pohranjene u našoj kreditnoj kartici ili u novčaniku. Ako veličina haljine, ili nekog drugog odjevnog predmeta, ne bude odgovarala, poslat ćemo elektroničkom poštom svoje mjere u tvornicu, gdje će odmah proizvesti komad odgovarajuće veličine. Sve će u budućnosti dobro pristajati.

•

Masovna tehnologija kao potrošna roba

Kad tehnologije postanu široko rasprostranjene, kao primjerice električna struja i vodovod, postupno postanu roba široke potrošnje. Kako kapitalizam snižava cijene i povećava konkurenciju, tehnologije će se prodavati kao roba široke potrošnje, tj. neće nas zanimati otkud dolaze i plaćat ćemo za njih samo kada nam zatrebaju. Isto vrijedi i za računarstvo. "Cloud computing", koje se bitno oslanja na internet za većinu računalnih operacija, postupno će dobivati na popularnosti. "Cloud computing" svodi računarstvo na robu široke potrošnje, nešto što plaćamo samo u trenutku kad nam zatreba, o čemu niti ne razmišljamo kad nam ne treba.

Danas to još nije slučaj, dok sami obavljamo većinu tipkanja, obrade teksta i crtanja na stolnom računalu ili prijenosniku, a onda se spajamo na internet u potrazi za informacijama. U budućnosti bismo postupno mogli sasvim ukinuti računala i svim potrebnim informacijama pristupati izravno na internetu, što bi se naplaćivalo prema vremenu provedenom na internetu. Tako bi računarstvo postalo roba čija bi se potrošnja mjerila kao i utrošak električne energije ili vode. Živjet ćemo u svijetu inteligentnih uređaja, namještaja i odjeće, i govorit ćemo im kada zatrebamo određene usluge. Posvuda skriveni internetski zasloni, a tipkovnice se utjelovljuju po potrebi. Funkcija je zamijenila formu pa će, ironično, računalnom revolucijom računala nestati u oblacima.

•

Ciljanje kupaca

Tvrtke su u prošlosti davale oglase u novinama, na radiju, televiziji i slično, često bez ikakvog saznanja o tome kakav su utjecaj ti oglasi imali. Učinkovitost njihovih reklamnih kampanja ogledala se jedino u porastu prodaje. No, u budućnosti će tvrtke gotovo odmah znati koliko je ljudi preuzelo ili pogledalo njihove proizvode. Ako, primjerice, dajete intervju na internetskoj radijskoj postaji, moguće je točno utvrditi koliko ljudi je to slušalo. To će tvrtkama omogućiti da ciljaju svoju publiku filigranski precizno.

(To, međutim, otvara jedno drugo pitanje: osjetljivo pitanje privatnosti, oko kojeg će se u budućnosti voditi velike rasprave. U prošlosti je bilo zabrinutosti da bi računala mogla omogućiti postojanje Velikog brata. U romanu Georgea Orwella *1984*. totalitarni režim zavlada Zemljom omogućujući paklenu budućnost u kojoj su uhode posvuda, svaka sloboda je ugušena i život je neprekidan niz poniženja. U određenom trenutku internet se mogao razviti u takvu sveprisutnu špijunsku napravu. Međutim, 1989., nakon raspada Sovjetskog Saveza, američka Nacionalna zaklada za znanost ga je otvorila, pretvorivši ga iz prvenstveno vojnog sredstva u sredstvo povezivanja sveučilišta i čak komercijalnih subjekata, što je

postupno dovelo do internetskog buma 1990-ih. Danas Veliki brat nije moguć. Pravi problem je "mali brat", tj. znatiželjna njuškala, sitni zločinci, žuti tisak pa čak i korporacije koje se služe rudarenjem podataka da saznaju naše osobne sklonosti. Kao što ćemo vidjeti u sljedećem poglavlju, to je problem koji neće nestati, nego će se s vremenom dalje razvijati. Više je nego vjerojatno da će uslijediti vječna igra mačke i miša između proizvođača softvera koji će razvijati programe za zaštitu privatnosti i onih koji će razvijati programe za narušavanje privatnosti.)

OD ROBNOG KAPITALIZMA DO INTELEKTUALNOG KAPITALIZMA

Dosad smo se samo pitali kako tehnologija mijenja način na koji kapitalizam funkcionira. Ali, uz sva previranja nastala razvojem visokih tehnologija, kakvog to utjecaja ima na samu prirodu kapitalizma? Sva ta previranja koja nastaju tom revolucijom mogu se sažeti u jedan pojam: prijelaz iz robnog u intelektualni kapitalizam.

Bogatstvo se u vrijeme Adama Smitha mjerilo u robama. Cijene roba su se mijenjale, ali u prosjeku su odmjereno padale u zadnjih 150 godina. Danas ste vjerojatno pojeli doručak kakav ni engleski kralj nije mogao imati prije 100 godina. Egzotične poslastice iz cijelog svijeta danas se sasvim uobičajeno prodaju u supermarketima. Pad cijena roba je posljedica različitih čimbenika, kao što su bolja masovna proizvodnja, skladištenje, prijevoz, komunikacija i konkurencija.

(Današnji srednjoškolci, primjerice, ne mogu razumjeti zašto je Kolumbo riskirao život i ozljede da bi pronašao kraći trgovački put do začina s Istoka. Pitaju se zašto jednostavno nije otišao u supermarket kupiti origano. Ali, u Kolumbovo vrijeme su začini i aromatično bilje bili iznimno skupi. Bili su na cijeni jer su mogli prikriti okus pokvarene hrane, jer tada nije bilo hladnjaka. Ponekad su čak kraljevi i carevi morali jesti pokvarenu hranu za večeru. Nije bilo kamiona, spremnika ni brodova s hladnjačama za prijevoz začina preko oceana.)

Zato je takva roba bila toliko cijenjena da je Kolumbo riskirao život da bi je dopremio, iako se danas prodaje za sitan novac.

Ono što zamjenjuje kapitalizam roba jest intelektualni kapitalizam. Intelektualni kapital uključuje upravo ono što roboti i umjetna inteligencija još ne mogu pružiti, a to je prepoznavanje uzoraka i zdrav razum.

Kao što je ekonomist Lester Thurrow s MIT-ja rekao: "Danas su znanja i vještine jedini izvor komparativnih prednosti... Silicijska dolina i Ruta 128 su tamo gdje jesu naprosto zato što je tamo koncentrirana pamet. One nemaju nikakvu drugu vrijednost."

Zašto ta povijesna promjena trese temelje kapitalizma? Jednostavno zato što se ljudski mozak ne može masovno proizvoditi. Dok se hardver može masovno proizvoditi i prodavati na tone, ljudski mozak se ne može, tj. zdrav razum će biti valuta budućnosti. Za razliku od roba, da biste stvorili intelektualni kapital, morate njegovati, odgajati i obrazovati ljudsko biće, za što su potrebna desetljeća osobnog napora.

Kako Thurrow kaže: "Budući da je sve drugo nestalo iz jednadžbe konkurentnosti, znanje je postalo jedini izvor dugoročno održive konkurentske prednosti."

Softver će, primjerice, postajati sve važniji od hardvera. S daljnjim padom njihovih cijena računalni čipovi će se prodavati na kamione, ali softver će i dalje morati proizvoditi čovjek, sjedeći mirno u naslonjaču, s papirom pred sobom i olovkom u ruci. Tako će npr. datoteke

pohranjene na vašem prijenosniku, koje možda sadrže važne planove, rukopise ili podatke, vrijediti stotine tisuća dolara, dok sam prijenosnik vrijedi tek nekoliko stotina. Naravno, softver se lako može kopirati i masovno proizvoditi, ali razvoj novog softvera se ne može jer to zahtijeva umni rad.

Prema britanskom ekonomistu Hamishu McRaeu, "Britanija je 1991. postala prva zemlja koja je zaradila više na nevidljivom izvozu (uslugama) nego na vidljivom."

Dok je udio američkog gospodarstva koji potječe od proizvodnje dramatično pao posljednjih desetljeća, udio koji uključuje intelektualni kapitalizam (hollywoodski filmovi, glazbena industrija, video igre, računala, telekomunikacije i sl.) je porastao. Taj prijelaz s robnog u intelektualni kapitalizam je postupan, započevši u prošlom stoljeću, ali se ubrzava svakog desetljeća. Ekonomist Thurrow s MIT-ja piše: "Uzevši u obzir ukupnu inflaciju, cijene prirodnih bogatstava pale su gotovo 60 posto od sredine 1970-ih do sredine 1990-ih."

Neki narodi to razumiju. Razmotrimo primjer Japana u razdoblju poslije rata. Japan nema velikih prirodnih bogatstava, a ipak je japansko gospodarstvo među najjačima u svijetu. Bogatstvo današnjeg Japana svjedoči više o industrijaliziranosti i jedinstvu japanskog naroda, nego o prirodnim resursima koje posjeduje.

Nažalost, mnoge države ne shvaćaju ovu temeljnu činjenicu i ne pripremaju svoje građane za budućnost, oslanjajući se umjesto toga samo na robe. To znači da bi države koje su bogate prirodnim resursima, ali ne razumiju ovo načelo, mogle u budućnosti potonuti u siromaštvo.

DIGITALNA PODIJELJENOST?

Neki ozloglašavaju informatičku revoluciju tvrdeći da ćemo imati povećanje jaza između "digitalno bogatih" i "digitalno siromašnih", tj. onih koji će imati računalnu silu i onih koji neće. Ta će revolucija, tvrde oni, produbiti pukotine u društvu i stvoriti nove nejednakosti u raspodjeli bogatstva, nejednakosti koje bi mogle raniti srž samog društva.

Međutim, to je nepotpuna slika pravog problema. Kako se snaga računala udvostručuje svakih osamnaest mjeseci, čak i siromašna djeca dobivaju pristup računalima. Pritisak vršnjaka i niske cijene potakle su uporabu računala i interneta i među siromašnom djecom. U jednom programu davala su se sredstva za kupnju prijenosnika u svaku učionicu. Unatoč dobrim namjerama, program je općenito shvaćen kao propao. Prvo, prijenosnik je obično nekorišten stajao u kutu jer učitelji često nisu znali kako da ga iskoriste. Drugo, većina je učenika već bila na internetu s prijateljima i jednostavno izbjegavala prijenosno računalo u učionici.

Problem nije pristup. Pravi problem su poslovi. Tržište poslova doživljava povijesne promjene i u budućnosti će napredovati države koje to iskoriste.

Za države u razvoju jedna je strategija iskoristiti robe za izgradnju čvrstih temelja, a onda te temelje iskoristiti kao stepenicu za prijelaz u intelektualni kapitalizam. Kina je, primjerice, uspješno usvojila takav dvokorak: Kinezi grade tisuće tvornica koje proizvode robu za svjetsko tržište, ali dobit ulažu u stvaranje uslužnog sektora utemeljenog na intelektualnom kapitalizmu. 50 posto studenata s doktoratom iz fizike u SAD-u su useljenici (uglavnom zato što SAD ne stvaraju dovoljno kvalificiranih vlastitih studenata). Većina od tih useljenih studenata s doktoratom su iz Kine i Indije. Neki od njih su se vratili u svoje zemlje da bi tamo stvorili nove industrije.

PRIMARNE DJELATNOSTI

Jedna od žrtava tih promjena bit će primarne djelatnosti. Svako je stoljeće imalo svoje nove tehnologije koje su stvarale bolne promjene u gospodarstvu i ljudskim životima. Primjerice 1850. je 65 posto američke radne snage radilo na farmama. (Danas radi samo 2,4 posto.) Jednako će biti i u tom stoljeću.

1800-tih godina novi val imigranata preplavio je SAD čije je gospodarstvo dovoljno brzo raslo da bi ih moglo primiti. U New Yorku su, na primjer, imigranti mogli naći posao u industriji odjeće ili u proizvodni svjetiljki. Bez obzira na razinu obrazovanja, svaki radnik koji je htio pronaći neki pošten posao imao je što raditi u rastućem gospodarstvu. Kao na pokretnoj traci imigranti iz europskih geta i sirotinjskih četvrti dolazili su u Ameriku i tamo postajali uspješna srednja klasa.

Ekonomist James Grant rekao je: "Dugotrajna seoba ruku i mozgova s polja u tvornice, urede i učionice znači rast učinkovitosti... Tehnološki napredak je bedem suvremenog gospodarstva. Na kraju krajeva, to je tako već skoro 200 godina."

Danas je većina tih poslova primarne djelatnosti nestala. Štoviše, promijenila se narav ekonomije. Mnoge početničke poslove korporacije su prebacile u prekomorske zemlje u potrazi za jeftinijom radnom snagom. Poslovi na proizvodnji u tvornicama odavno su nestali.

Ali, ima u tome dosta ironije. Mnogi su godinama zahtijevali jednaka pravila igre za sve, bez pristranosti i diskriminacije. No, ako se poslovi mogu izvesti pritiskom na tipku, jednaka pravila igre odnose se i na Kinu i Indiju. Dakle, primarni poslovi na kojima je ponikla srednja klasa sada se mogu izvesti drugamo. To može dobro doći radnicima prekomorskih zemalja koji mogu iskoristiti jednaka pravila igre, ali može i isprazniti gradove u unutrašnjosti SAD-a.

Potrošači također imaju koristi od toga. Uz globalnu konkurenciju proizvodi i usluge postaju jeftiniji, a proizvodnja i distribucija učinkovitije. Pokušaji podupiranja zastarjelih i preplaćenih poslova stvaraju samodopadnost, gubitke i neučinkovitost. Subvencioniranje industrija u stečaju samo odgađa neizbježno, i zapravo pogoršava stvari.

Postoji još jedna ironija. Mnogi visoko plaćeni stručni poslovi u uslužnim djelatnostima ostaju nepopunjeni zbog nedostatka kvalificiranih kandidata. Obrazovni sustav često ne proizvodi dovoljno obučene radnike pa se tvrtke moraju boriti sa slabije obrazovanom radnom snagom. Tvrtke moraju prosjačiti kvalificirane radnike koje obrazovni sustav često ne proizvodi. Čak i u posrnulom gospodarstvu ima nepopunjenih radnih mjesta koja zahtijevaju visoku stručnost.

Jedno je jasno. U postindustrijskom gospodarstvu mnogi stari proizvodni poslovi u tvornicama su zauvijek nestali. Tijekom godina, ekonomisti su se zanosili idejom "reindustrijalizacije Amerike", ali onda su shvatili da se vrijeme ne može vratiti unatrag. SAD i Europa doživjele su prijelaz iz većinski industrijskog u većinski uslužno gospodarstvo još prije više desetljeća i taj se povijesni prijelaz ne može obrnuti. Doba procvata industrijalizacije je zauvijek prošlo.

Umjesto toga, treba se truditi u preusmjeravanju i ulaganju u one sektore koji se zasnivaju na intelektualnom kapitalizmu. To će biti jedna od najtežih zadaća vlada u 21. stoljeću, bez brzih i jednostavnih rješenja. S jedne strane to zahtijeva velike promjene u obrazovnom sustavu, kako bi se radnici mogli usavršavati i kako srednjoškolci nakon mature ne bi završavali na listama nezaposlenih. Intelektualni kapitalizam ne znači poslove samo za računalne programere i

znanstvenike nego i u širokom spektru aktivnosti koje uključuju kreativnost, umjetničke sposobnosti, inovativnost, rukovodstvo i analitičnost, drugim riječima – zdrav razum. Radnu snagu mora se obrazovanjem osposobiti za izazove 21. stoljeća, a ne zatupiti. Osobito treba preispitati nastavni plan i program prirodnih znanosti, a učitelje treba ponovo obučiti da postanu nadležni za tehnološko društvo budućnosti. (Tužno je da u Americi postoji stara izreka: "Oni koji znaju, rade. Oni koji ne znaju raditi, poučavaju.")

Kao što je ekonomist Lester Thurrow s MIT-ja rekao: "Uspjeh ili neuspjeh ovisi o tome je li neka država uspješno prelazi na pametne industrije budućnosti, a ne o veličini bilo koje gospodarske grane."

To znači stvaranje novog vala inovativnih poduzetnika koji će stvoriti nove industrije i novo bogatstvo na svojim tehnološkim inovacijama. Energija i vitalnost tih ljudi moraju se osloboditi. Mora im se dozvoliti da uvedu nov način rukovođenja na tržište.

POBJEDNICI I GUBITNICI: DRŽAVE

Nažalost, mnoge države ne slijede taj put, oslanjajući se umjesto toga na kapitalizam roba. No, kako cijene roba, u prosjeku, padaju zadnjih 150 godina, njihova gospodarstva će postupno slabiti, a svijet će ih zaobilaziti.

Taj proces nije neizbježan. Pogledajte samo primjere Njemačke i Japana 1945., kad je čitava njihova populacija bila na rubu gladi, njihovi gradovi ruševine, a njihove su vlade pale. Za vrijeme jedne generacije uspjeli su se probiti na čelo svjetskog gospodarstva. Pogledajte Kinu koja danas, s galopirajućom stopom rasta od 8 do 10 posto, izlazi iz 500-godišnjeg razdoblja gospodarskog pada. Nekoć izrugivana kao "bolesnik Azije", u narednoj generaciji pridružit će se klubu razvijenih zemalja.

Ono što izdvaja ta tri društva je to da su imala narodno jedinstvo, marljive građane i da su proizvodile ono za čim je u svijetu bila velika potražnja. Ti su narodi stavili naglasak na obrazovanje, ujedinjenje svoje domovine i ljudi te gospodarski razvoj.

Kao što je napisao britanski ekonomist i novinar McRae: "Stari pokretači rasta – zemljište, kapital i prirodna bogatstva – više nisu važni. Zemljište ne znači mnogo jer je povećanje prinosa u poljoprivredi omogućilo proizvodnju mnogo većih količina hrane od potrebnih u industrijskom svijetu. Kapital više nije bitan jer je za profitabilne projekte, po određenoj cijeni, gotovo neograničeno dostupan s međunarodnih tržišta... Ta kvantitativna dobra, koja su nekada činila države bogatima zamjenjuje sada niz kvalitativnih elemenata, koji se svode na kakvoću, organiziranost, motiviranost i samodisciplinu ljudi koji u njima žive. To se pokazuje točnim ako pogledamo način na koji ljudske sposobnosti postaju sve važnije u proizvodnji, u uslugama privatnog sektora, ali i u javnom sektoru."

Međutim, ne slijede sve zemlje taj put. Neke zemlje vode nesposobni ljudi, kulturno i etnički su podijeljene do razine nefunkcioniranja i ne proizvode dobra koja ostatak svijeta treba. Umjesto da ulažu u obrazovanje, oni ulažu u velike vojske i oružje kojima teroriziraju svoj narod da bi održali svoje privilegije. Umjesto da ulažu u infrastrukturu kako bi ubrzali industrijalizaciju svojih zemalja, oni sudjeluju u korupciji da bi se održali na vlasti, učvršćujući vladavinu podobnih, a ne sposobnih.

Nažalost, korumpirane vlade su protratile većinu, ionako neznatne, pomoći dobivene od

Zapada. Futuristi Alfred i Heidi Toffler naglašavaju da su bogate države između 1950. i 2000. isplatile više od trilijun američkih dolara pomoći siromašnim državama. Ali, naglašavaju, "prema podacima Svjetske banke gotovo 2,8 milijardi ljudi – skoro polovica svjetskog stanovništva – još uvijek živi s protuvrijednošću dva američka dolara na dan, ili manje. Od toga 1,1 milijarda preživljava u krajnjem ili potpunom siromaštvu, s manje od dolara dnevno."

Naravno, razvijene zemlje bi mogle učiniti mnogo više od neiskrene potpore da olakšaju stanje u zemljama u razvoju. Ali, kad se sve zbroji i oduzme, u konačnici, najveća odgovornost za razvoj ipak leži na mudrom vodstvu samih zemalja u razvoju. Kao što kaže stara izreka: "Ako nekome daš ribu, pomogao si mu za jedan dan. Ako ga naučiš loviti ribu, pomogao si mu za cijeli život." To znači da bi, umjesto jednostavnog davanja financijske pomoći, zemljama u razvoju trebalo pomoći u obrazovanju i razvijanju novih industrija koje će ih učiniti neovisnima o vanjskoj pomoći.

ISKORIŠTAVANJE ZNANOSTI

Zemlje u razvoju mogle bi iskoristiti informatičku revoluciju. U načelu, mogle bi preskočiti razvijene zemlje u mnogim područjima. Telekomunikacijske tvrtke u razvijenom svijetu morale su se mučiti dovođenjem žica do svake kuće i farme, uz velike troškove. Međutim, zemlje u razvoju ne moraju dovesti žice u svaki kutak zemlje, jer je današnja mobilna tehnologija pogodnija za ruralna područja bez ikakvih cesta i infrastrukture.

Također, prednost zemalja u razvoju je što ne moraju ponovo izgrađivati zastarjelu infrastrukturu. Primjerice, podzemne željeznice New Yorka i Londona su starije od stoljeća i vape za obnovom. Danas bi obnova tih škripavih sustava koštala više nego izgradnja potpuno novih. Zemlja u razvoju može odlučiti sagraditi potpuno nov sustav sa svom najnovijom tehnologijom, koristeći sve pogodnosti poboljšanih materijala, tehnika izgradnje i tehnologija. Potpuno nov sustav podzemnih željeznica mogao bi koštati mnogo manje nego onaj od prije stoljeća.

Kina se, primjerice, jako okoristila iskustvima Zapada u izgradnji grada iz temelja. Kao posljedica toga troškovi izgradnje Pekinga i Šangaja mnogo su manji nego su bili troškovi izgradnje velikih gradova na Zapadu. Danas se u Pekingu gradi jedna od najvećih i najmodernijih podzemnih željeznica na svijetu, uz pomoć svekolike računalne tehnologije stvorene na Zapadu, da bi služila brzo rastućoj gradskoj populaciji.

Internet je još jedna prilika zemljama u razvoju da prečacem krenu u budućnost, izbjegavajući sve pogrješke Zapada, posebno u znanostima. Prije su se znanstvenici u zemljama u razvoju morali pouzdati u stari poštanski sustav za dostavu znanstvenih časopisa, koji su obično stizali mjesecima pa i godinama nakon objavljivanja, ako su uopće i stizali. Ti su časopisi bili skupi i visoko specijalizirani pa su si ih samo najveće knjižnice mogle priuštiti. Surađivati sa znanstvenikom sa Zapada bilo je gotovo nemoguće. Morali ste biti iznimno bogati ili krajnje ambiciozni da biste dobili mjesto kod poznatog znanstvenika na nekom od sveučilišta na Zapadu. Danas je i najanonimnijem znanstveniku moguće doći do znanstvenih radova u roku par sekundi od njihove objave na internetu, gotovo bilo gdje u svijetu i to besplatno. Putem interneta moguće je i surađivati sa znanstvenicima na Zapadu koje nikad niste ni upoznali.

BUDUĆNOST JE SVIMA DOSTUPNA

Budućnost je širom otvorena. Kao što smo spomenuli, Silicijska dolina mogla bi postati novi

Pojas hrđe u nadolazećim desetljećima, kako silicijsko doba prolazi, a baklja se prepušta novim inovatorima. Koji će narodi biti predvodnici u budućnosti? U doba Hladnog rata velesile su bile one države koje su imale vojni utjecaj u svijetu. No, raspad Sovjetskog Saveza pokazao je da će se u budućnosti prema vrhu uspinjati države koje će razvijati svoja gospodarstva, što će naizmjence ovisiti o razvoju i jačanju znanosti i tehnologije.

Tko su, dakle, vođe sutrašnjice? One države koje u potpunosti prihvate tu činjenicu. SAD su, primjerice, održale svoju dominaciju u znanosti i tehnologiji unatoč činjenici da američki učenici često imaju uvjerljivo najlošije rezultate u ključnim predmetima kao što su prirodne znanosti i matematika. Testovi znanja 1991. su primjerice pokazali da trinaestogodišnji učenici iz SAD-a zauzimaju petnaesto mjesto u matematici i četrnaesto mjesto u prirodnim znanostima, tek malo iznad jordanskih učenika koji su zauzeli osamnaesto mjesto u obje kategorije. Otada se svake godine na testovima potvrđuju te žalosne brojke. (Treba također napomenuti da te brojke ugrubo odgovaraju broju dana koje su učenici proveli u školi. U Kini, koja je bila prvoplasirana, ta brojka u prosjeku iznosi 251 dan nastave godišnje, dok je u SAD-u prosjek samo 178 dana godišnje.)

Čini se zagonetnim da, usprkos tim lošim brojkama, SAD i dalje ima dobre rezultate u znanosti i tehnologiji na međunarodnoj razini, ali onda shvatite da je glavnina američke znanosti utemeljena na "odljevu mozgova" iz prekomorskih zemalja. SAD imaju tajno oružje, H1B vizu, tzv. vizu za genijalce. Ako pokažete da imate neke posebne talente, sposobnosti ili znanstvenu spoznaju, možete se progurati preko reda i dobiti H1B vizu. To neprestano doprinosi našem znanstvenom statusu. U Silicijskoj dolini primjerice, ima oko 50 posto doseljenika, većinom s Tajvana i iz Indije. Na državnoj razini, 50 posto svih studenata s doktoratom iz fizike su doseljenici. Na mom sveučilištu, Gradskom sveučilištu New Yorka, ta je brojka blizu 100 posto doseljenih studenata.

Neki su kongresnici pokušali ukinuti H1B vizu jer, tvrde oni, otima poslove Amerikancima, ali oni ne razumiju kakvu ulogu ima ta viza. Obično nema dovoljno Amerikanaca koji su kvalificirani da preuzmu radna mjesta na najvišoj razini u Silicijskoj dolini, koja kao posljedica toga često ostaju nepopunjena. Ta se činjenica pokazala i kad je bivši kancelar Gerhard Schroeder pokušao uvesti sličan vizni režim i u njemačkom useljeničkom zakonu, ali su ga spriječili oni koji su tvrdili da bi to oduzelo poslove domaćim Nijemcima. I ovdje su kritičari propustili shvatiti da često nema Nijemaca koji bi mogli popuniti radna mjesta na visokoj razini, koja tako ostaju nepopunjena. Ti H1B useljenici ne otimaju poslove, nego stvaraju potpuno nove industrije.

No, H1B viza je samo privremena mjera. SAD ne mogu nastaviti živjeti od stranih znanstvenika, od kojih se mnogi počinju vraćati u Kinu i Indiju, kako se njihova gospodarstva razvijaju. Stoga odljev mozgova nije održiv. To znači da će SAD s vremenom morati temeljito promijeniti svoj zastarjeli, okorjeli obrazovni sustav. Zasada slabo pripremljeni srednjoškolci preplavljuju tržište rada i sveučilišta, stvarajući čepove. Poslodavci se neprestano žale na činjenicu da moraju potrošiti godinu dana da bi nove zaposlenike osposobili za posao. Sveučilišta pak opterećuje što moraju uvoditi niz dopunskih kolegija da bi nadoknadila nedostatke lošeg srednjoškolskog obrazovanja.

Srećom, naša sveučilišta i tvrtke s vremenom uspijevaju u hvalevrijednom poslu popravljanja štete učinjene u srednjim školama, ali to je gubitak vremena i talenta. Da bi SAD ostale konkurentne u budućnosti, morat će doći do temeljitih promjena u osnovnoškolskom i srednjoškolskom sustavu.

Da budemo pošteni, SAD još uvijek imaju značajne prednosti. Jednom sam bio na koktel zabavi u Američkom prirodoslovnom muzeju u New Yorku i sreo poduzetnika biotehnologa iz

Belgije. Pitao sam ga zašto je otišao, jer Belgija ima jaku biotehnološku industriju. Rekao je da u Europi često ne dobivate drugu priliku. Budući da svi znaju tko ste i iz kakve obitelji, ako napravite pogrješku, to može biti vaš kraj. Vaše grješke vas prate kamo god pošli. U SAD-u možete uvijek početi iznova. Nitko ne mari tko su bili vaši preci. Jedino im je važno što možete učiniti za njih sada, danas. To je bilo okrjepljujuće, rekao je, i jedan je od razloga zbog kojih drugi europski znanstvenici dolaze u SAD.

SINGAPURSKA LEKCIJA

Na Zapadu postoji izreka: "Kotač koji škripi se podmazuje." Na Istoku postoji drugačija izreka: "Čavao koji strši dobiva čekićem po glavi." Te su dvije izreke dijametralno suprotne, ali obuhvaćaju neke osnovne značajke zapadnjačke, odnosno istočnjačke misli.

Studenti u Aziji na ispitima često imaju rezultate koji se izdižu iznad rezultata njihovih kolega na Zapadu. Međutim, većina njihovog učenja je iz knjiga i puko mehaničko zapamćivanje koje vas može dovesti samo do određene razine. Da bi se dosegla viša razina znanosti i tehnologije, potrebna je kreativnost, mašta i inovativnost koje istočnjački sustav ne njeguje. Stoga, iako će Kina postupno dostići Zapad u proizvodnji jeftinih tvorničkih kopija dobara prvotno proizvođenih na Zapadu, još će desetljećima kaskati iza Zapada u kreativnom procesu izmišljanja novih proizvoda i novih strategija.

Jednom sam govorio na konferenciji u Saudijskoj Arabiji, gdje je jedan od govornika bio i Lee Kuan Yew, premijer Singapura u razdoblju od 1959. do 1990. On je nešto poput rock zvijezde u zemljama u razvoju jer je pomogao iskovati novi Singapur, koji je među vodećim državama u znanosti. Singapur je zapravo peta najbogatija država na svijetu ako gledate bruto društveni proizvod po glavi stanovnika. Publika je pozorno slušala svaku riječ tog legendarnog čovjeka.

Prisjećao se ranih dana poslije rata, kad se na Singapur gledalo kao na zabačenu luku prvenstveno poznatu po gusarenju, krijumčarenju, pijanim mornarima i drugim nedoličnim radnjama. Međutim, skupina njegovih suradnika sanjala je dan kad će se ta mala pomorska luka moći nadmetati sa Zapadom. Iako Singapur nije imao značajnijih prirodnih bogatstava, najveće bogatstvo bili su njegovi marljivi i polukvalificirani stanovnici. Lee Kuan Yew i suradnici pokrenuli su znamenito putovanje na kojem je ta zaspala, nazadna zemlja u samo jednoj generaciji prerasla u znanstveno središte. Bio je to jedan od najzanimljivijih primjera izgradnje društva u povijesti.

On i njegova stranka započeli su sustavan proces radikalnih promjena u cijeloj državi, stavljajući naglasak na znanost i obrazovanje i koncentrirajući se na industriju visokih tehnologija. U samo nekoliko desetljeća Singapur je stvorio veliki bazen visoko obrazovanih tehničara koji je zemlji omogućio da postane jedan od vodećih izvoznika elektronike, kemikalija i biomedicinske opreme. Singapur je 2006. godine imao 10 posto udjela u svjetskoj proizvodnji poluproizvoda za računalne komponente.

Priznao je da je bilo brojnih problema tijekom modernizacije države. Da bi uveli red u društvu, nametnuli su drakonske zakone, stavljajući van zakona sve od pljuvanja na ulici (kažnjivo bičevanjem) do raspačavanja droge (kažnjivo smrću). No, zamijetio je nešto važno. Vrhunski znanstvenici bili su nestrpljivi da posjete Singapur, ali samo ih je šačica ostala tamo. Kasnije je otkrio razlog tome: nije bilo kulturnih sadržaja i atrakcija koje bi ih zadržale. To mu je dalo sljedeću ideju: promišljeno njegovati sve kulturne povlastice moderne države (baletne družine, simfonijske orkestre, itd.) kako bi vrhunski znanstvenici pustili korijenje u Singapuru. Gotovo

preko noći kulturne organizacije i priredbe počele su se širiti cijelom zemljom kao mamac koji će usidriti znanstvenu elitu tamo.

Također je primijetio da singapurska djeca slijepo ponavljaju riječi svojih učitelja, ne preispitujući konvencionalno znanje i ne rađajući nove ideje. Shvatio je da će Istok kaskati za Zapadom dok god proizvodi znanstvenike koji samo znaju kopirati druge. Zato je pokrenuo revoluciju u obrazovanju: kreativne studente se izdvajalo i dopuštalo im se da slijede svoje snove vlastitim tempom. Shvativši da bi nekoga poput Billa Gatesa ili Stevea Jobsa ugušio singapurski obrazovni sustav, zatražio je od učitelja da sustavno identificiraju buduće genijalce koji bi mogli oživjeti gospodarstvo svojom znanstvenom imaginacijom.

Singapurska lekcija nije za svakoga. To je mali grad-država gdje je šačica vizionara mogla izvesti kontroliranu izgradnju države. Ali, ne želi svatko biti bičevan zbog pljuvanja na ulici. Međutim, ona pokazuje kako možete postupati ako sustavno želite skočiti na čelo informatičke revolucije.

IZAZOV ZA BUDUĆNOST

Jednom sam proveo neko vrijeme na Institutu za napredna istraživanja u Princetonu i ručao s Freemanom Dysonom. Počeo se prisjećati svoje duge znanstvene karijere i zatim spomenuo jednu uznemirujuću činjenicu. Prije rata, dok je bio mladi student u Ujedinjenom Kraljevstvu, primijetio je da najbistriji umovi Engleske okreću leđa teškim znanostima kao što su fizika i kemija, zbog unosnih karijera u financijama i bankarstvu. Dok je prethodna generacija stvarala bogatstvo u obliku elektrana i kemijskih tvornica i izmišljala nove elektromehaničke strojeve, sljedeća se generacija upustila u masaže i upravljanje tuđim novcem. Požalio se da je to bio znak propadanja Britanskog Carstva. Engleska nije mogla održati svoj status svjetske sile uz rasap znanstvene osnove.

Onda je rekao nešto što mi je privuklo pažnju.

Napomenuo je da to doživljava po drugi put u životu. Najbistriji umovi na Princetonu više se ne hrvaju s najtežim problemima u fizici i matematici, nego ih se odvlači u karijere u investicijskom bankarstvu. To bi ponovo, misli on, mogao biti znak raspada, u kojem vođe društva više neće moći podržavati izume i tehnologije koje su njihovo društvo učinile velikim.

To je naš izazov za budućnost.

8. BUDUĆNOST ČOVJEČANSTVA

Planetarna civilizacija

Današnji ljudi žive usred razdoblja na koje će se kasnije gledati kao na najposebnija tri ili četiri stoljeća u ljudskoj povijesti.

— JULIAN SIMON

Kad objave nema, narod se razuzda.

— MUDRE IZREKE 29,18

U mitologiji, bogovi su živjeli u božanskoj raskoši nebesa, visoko iznad beznačajne svakodnevice običnih smrtnika. Grčki bogovi zabavljali su se u na vrhovima Olimpa, a nordijski bogovi koji su se borili za čast i vječnu slavu gostili bi se u rajskoj dvorani Valhali zajedno s duhovima palih ratnika. No, ako je naša sudbina doseći moć bogova do kraja stoljeća, kako će naša civilizacija izgledati 2100.? Kamo sve te tehnološke inovacije vode našu civilizaciju?

Sve ovdje opisane tehnološke revolucije vode prema istome: stvaranju planetarne civilizacije. To je možda najveći prijelaz u povijesti čovječanstva. Zapravo, današnja generacija ljudi je najvažnija koja je ikada hodala Zemljom, jer će ona odrediti hoćemo li dostići taj cilj ili ćemo upasti u kaos. Možda je 5000 generacija ljudi živjelo na Zemlji otkad smo se pojavili u Africi, prije oko 100 000 godina, i od svih njih će oni koji žive u tom stoljeću u konačnici odrediti našu sudbinu.

Ako se ne dogodi neka prirodna katastrofa ili neka zlosretna ludost, neizbježno ćemo ući u to razdoblje zajedničke povijesti. To najjasnije možemo vidjeti analizirajući povijest energije.

POREDAK CIVILIZACIJA

Kada profesionalni povjesničari pišu povijest, gledaju je kroz prizmu ljudskih iskustava i budalaština, tj. kroz pothvate kraljeva i kraljica, nastanak društvenih pokreta i širenje ideja. Fizičari, naprotiv, gledaju povijest posve drugačije.

Fizičari sve, čak i ljudske civilizacije, nastoje poredati prema potrošnji energije. Kad se to primijeni na ljudsku povijest, vidimo da je kroz mnoga tisućljeća naša energija bila ograničena na

petinu konjske snage, tj. snagu golih ruku, pa smo stoga živjeli nomadskim životom u malim, lutajućim plemenima, tragajući za hranom u nesmiljenom, neprijateljskom okružju. Vjekovima se nismo mnogo razlikovali od vukova. Nije bilo pisanih dokumenata, samo usmena predaja prenošena s generacije na generaciju uz samotne logorske vatre. Život je bio kratak i okrutan, s prosječnim očekivanim životnim vijekom od osamnaest do dvadeset godina. Sve bogatstvo sastojalo vam se od onog što ste mogli ponijeti na leđima. Većinu života osjećali biste bol praznog želuca. Nakon smrti, za vama ne bi ostalo nikakvog traga da ste ikada postojali.

No, prije 10 000 godina dogodio se jedan čudesan događaj koji je pokrenuo civilizaciju: završilo je ledeno doba. Iz razloga koje još uvijek ne razumijemo, tisućljetno razdoblje zaleđivanja je završilo. To je utrlo put razvoju poljoprivrede. Uskoro su pripitomljeni konji i goveda, što je povećalo našu energiju na jednu konjsku snagu. Time je jedna osoba mogla obavljati žetvu na nekoliko rali zemlje, što je omogućilo potrebne viškove da se prehrani brzo rastuća populacija. Pripitomljavanjem životinja, ljudi više nisu primarno ovisili o lovu životinja za hranu pa su se u šumama i nizinama počela razvijati prva sela i gradovi.

Višak bogatstva stvorenog poljoprivrednom revolucijom urodio je novim domišljatim načinima održavanja i povećanja tog bogatstva. Matematika i pismo stvoreni su u svrhu prebrojavanja bogatstva, kalendari su bili potrebni radi praćenja vremena sjetve i žetve, a pisari i računovođe bili su potrebni da bi bilježili viškove i oporezivali ih. Ti viškovi bogatstva doveli su do uspona velikih vojski, kraljevstava, carstava, do pojave ropstva i antičkih civilizacija.

Sljedeća velika revolucija odigrala se prije oko 300 godina, pojavom industrijske revolucije. Odjednom bogatstvo pojedinca nije više bilo samo proizvod rada njegovih ruku i pomoći konja, nego proizvod strojeva koji su mogli stvoriti basnoslovno bogatstvo kroz masovnu proizvodnju.

Parni strojevi mogli su pogoniti moćne strojeve i lokomotive pa se bogatstvo moglo stvarati u tvornicama, mlinovima i rudnicima, a ne samo na poljima. Zemljoradnici su, bježeći od povremenih oskudica i umorni od napornog rada u poljima, nahrupili u gradove, stvarajući industrijsku radničku klasu. Kovače i kolare s vremenom su zamijenili radnici u automobilskoj industriji. Pojavom motora s unutarnjim izgaranjem pojedinac je dobio mogućnost upravljanja stotinama konjskih snaga. Očekivano trajanje životnog vijeka počelo se povećavati, dosegavši 49 godina u SAD-u do 1900.

Konačno, mi se nalazimo u razdoblju trećeg vala, kada su informacije izvor bogatstva. Bogatstvo države danas se mjeri količinom elektrona koji kruže svijetom optičkim kabelima i satelitima, plešu po zaslonima računala na Wall Streetu i u drugim financijskim središtima. Znanost, trgovina i zabava putuju brzinom svjetlosti, dajući nam neograničene informacije bilo kada i bilo gdje.

CIVILIZACIJE TIPA 1, 2 I 3

Kako će se taj porast utroška energije nastaviti u nadolazećim stoljećima i tisućljećima? Kad fizičari analiziraju civilizacije, nastoje ih poredati na temelju energije koju troše. Takav je poredak prvi 1964. uveo ruski astrofizičar Nikolaj Kardašev, koji se zanimao istraživanjem signala na noćnom nebu poslanih od naprednih civilizacija iz svemira.

Nije bio zadovoljan nečim tako nejasno i loše definiranim kao što je "vanzemaljska civilizacija", pa je uveo kvantitativnu ljestvicu kojom će se astronomi voditi u svom radu. Znao je da se vanzemaljske civilizacije mogu razlikovati po kulturi, društvenom uređenju, načinu

vladavine itd., ali jedno su sve morale poštivati: zakone fizike. A gledano sa Zemlje, jedino što se može promatrati i mjeriti, a po čemu bismo mogli razvrstati te civilizacije u različite razrede jest njihova potrošnja energije.

Stoga je predložio tri teoretska tipa: Civilizacija Tipa 1 je planetarna, jer troši dio Sunčeve svjetlosti koji pada na njihov planet, ili oko 1017 J. Civilizacija Tipa 2 je zvjezdana, jer troši svu energiju koju njihovo sunce emitira, ili 1027 J. Civilizacija Tipa 3 je galaktička, jer troši energiju milijardi zvijezda, ili 1037 J.

Prednost ovakve klasifikacije je da možemo brojem iskazati energiju neke civilizacije, umjesto da činimo nejasna i neutemeljena poopćenja. Budući da nam je poznata energija koju zrače spomenuta nebeska tijela, možemo postaviti određena brojčana ograničenja za svako od njih prilikom proučavanja neba.

Tipovi civilizacija međusobno su odijeljeni faktorom od 10 milijardi: civilizacija Tipa 3 troši 10 milijardi puta više energije nego civilizacija Tipa 2 (jer u galaksiji ima, ugrubo, 10 milijardi zvijezda, ili više), koja pak troši 10 milijardi puta više energije nego civilizacija Tipa 1.

Prema ovoj klasifikaciji naša sadašnja civilizacija je Tipa 0. Nas čak ni nema na toj ljestvici, jer mi energiju dobivamo od uginulih biljaka, tj. od nafte i ugljena. (Carl Sagan je, poopćavajući tu klasifikaciju, pokušao točnije procijeniti naše mjesto na svemirskoj ljestvici. Njegovi su izračuni pokazali da smo zapravo civilizacija Tipa 0,7.)

Prema toj ljestvici možemo usporediti i različite civilizacije iz znanstvene fantastike. Tipičan primjer civilizacije Tipa 1 bile bi civilizacije Bucka Rogersa ili Flasha Gordona, gdje su razvijeni izvori energije čitavog planeta. Upravljaju svim izvorima energije na planetu, tako da bi mogli upravljati ili po volji mijenjati vremenske prilike, ukrotiti snagu uragana i imati gradove na oceanima. Iako krstare nebom u raketama, njihova proizvodnja energije još uvijek je uvelike ograničena na planet.

Civilizacija Tipa 2 mogla bi biti Ujedinjena federacija planeta (bez warp pogona) iz Zvjezdanih staza, koja može kolonizirati oko 100 obližnjih zvijezda. Njihova je tehnologija jedva u mogućnosti upravljati energijom koju proizvodi zvijezda.

Civilizacija Tipa 3 mogla bi biti Imperij iz sage Ratovi zvijezda, ili možda Borg u seriji Zvjezdane staze, koje su obje kolonizirale velike dijelove galaksije i milijarde njenih zvjezdanih sustava. Oni mogu po volji krstariti galaktičkim prostorom.

(Iako se klasifikacija na Kardaševljevoj ljestvici temelji na planetima, zvijezdama i galaksijama, trebamo istaknuti i mogućnost civilizacije Tipa 4, koja svoju energiju crpi iz vangalaktičkih izvora. Jedini poznati izvor energije izvan naše galaksije jest tamna energija, koja čini 73 posto materije i energije poznatog svemira, dok svijet zvijezda i galaksija čini samo 4 posto svemira. Mogući kandidat za civilizaciju Tipa 4 je bogoliki Q iz serije Zvjezdane staze, čija energija je izvangalaktička.)

Možemo iskoristiti ovu klasifikaciju kako bismo izračunali kad ćemo moći doseći spomenute tipove civilizacija. Pretpostavimo da je porast BDP-a zajedničke svjetske civilizacije 1 posto godišnje. To je razumna pretpostavka ako uprosječimo preko posljednjih nekoliko stoljeća. Prema toj pretpostavci potrebno je oko 2500 godina za prijelaz iz jedne civilizacije u drugu. Uz stopu rasta od 2 posto prijelazno razdoblje bilo bi 1200 godina.

Možemo izračunati i koliko bi našem planetu trebalo da postigne razinu Tipa 1 u klasifikaciji. Usprkos gospodarskim recesijama i naprecima, procvatima i krahovima, matematički možemo procijeniti da ćemo razinu civilizacije Tipa 1 doseći za oko 100 godina, imajući u vidu naš prosječni gospodarski rast.

OD TIPA 0 DO TIPA 1

Dokaze o prijelazu s Tipa 0 na Tip 1 vidimo svaki put kad otvorimo novine. Mnogi naslovi upućuju na porođajne muke civilizacije Tipa 1 koja se rađa pred našim očima.

- Internet je početak planetarnog telefonskog sustava Tipa 1. Po prvi put u povijesti pojedinac s jednog kontinenta može bez velikog truda izmijeniti neograničenu količinu informacija s nekim na drugom kontinentu. Zapravo, mnogi ljudi već sada osjećaju da imaju više zajedničkog s nekim na drugoj strani svijeta, nego sa svojim susjedom. Taj će se proces samo ubrzavati jer države postavljaju sve više optičkih kabela i lansiraju sve više komunikacijskih satelita. Taj proces je također nezaustavljiv. Čak i da predsjednik SAD-a pokuša zabraniti internet, nitko ga ne bi shvatio ozbiljno. Danas u svijetu ima skoro milijardu osobnih računala, a oko četvrtine stanovnika Zemlje barem jednom je bilo na internetu.

- Nekoliko jezika, koje predvodi engleski, a slijedi kineski, ubrzano izrastaju u buduće jezike Tipa 1. Na World Wide Webu se, primjerice, 29 posto posjetitelja prijavljuje na engleskom jeziku, 22 posto na kineskom, 8 posto na španjolskom, 6 posto na japanskom i 5 posto na francuskom. Engleski je već, de facto, planetarni jezik znanosti, financijskog, poslovnog i svijeta zabave. Engleski je i prvi strani jezik u svijetu. Kamo god putujem, engleski se pojavljuje kao jezik sporazumijevanja. U Aziji, kad su npr. Vijetnamci, Japanci i Kinezi na sastanku, sporazumijevaju se na engleskom jeziku. Trenutno se na Zemlji govori oko 6000 jezika, a prema mišljenju Michaela E. Kraussa, bivšeg profesora s Centra za materinske jezike Sveučilišta Aljaske, očekuje se da će 90 posto tih jezika izumrijeti u nadolazećim desetljećima. Telekomunikacijska revolucija ubrzava taj proces, jer su i ljudi koji žive u najudaljenijim krajevima svijeta izloženi engleskom jeziku. To će također ubrzati i gospodarski razvoj, daljnjom integracijom njihovih društava u svjetsko gospodarstvo, čime će se podići životni standard i gospodarska aktivnost.
  Mnogi će žaliti zbog činjenice da se više ne govore jezici njihovih predaka. No, s druge strane, računalna revolucija jamči da ti jezici neće biti izgubljeni. Izvorni govornici će staviti svoj jezik i kulturu na internet, gdje će živjeti vječno.

- Svjedočimo rađanju planetarnog gospodarstva. Uspon Europske unije i drugih trgovinskih blokova znak je pojave gospodarstva Tipa 1. Kroz povijest, europski narodi su tisućama godina vodili krvave ratove sa svojim susjedima. Čak i nakon raspada Rimskog Carstva njegova su se plemena nastavila međusobno ubijati, prerastajući s vremenom u zavađene europske države. Ipak, danas su se ti ljuti protivnici iznenada ujedinili u Europsku uniju, koja predstavlja najveću koncentraciju bogatstva na planetu. Razlog zbog kojeg su iznenada zanemarili svoje čuveno suparništvo je da bi se mogli natjecati s velikim gospodarskim pothvatom država potpisnica NAFTA-e (Sjevernoameričkog sporazuma o slobodnoj trgovini). U budućnosti će se pojavljivati sve više gospodarskih blokova, jer će države shvatiti da ne mogu ostati konkurentne ako se ne uključe u probitačne trgovinske blokove. Vidimo jasne dokaze tome ako analiziramo veliku recesiju iz 2008. Za samo nekoliko dana,

udarni valovi nastali na Wall Streetu proširili su se financijskim ustanovama Londona, Tokyja, Hong Konga i Singapura. Danas je nemoguće razumjeti gospodarstvo neke države bez razumijevanja trendova koji utječu na svjetsko gospodarstvo.

•

Upravo svjedočimo usponu planetarne srednje klase. Stotine milijuna ljudi u Kini, Indiji i drugdje ulaze u taj razred, što je možda najveći društveni uspon u posljednjih pola stoljeća. Ta skupina razumije kulturne, obrazovne i gospodarske trendove koji pogađaju planet. Ta planetarna srednja klasa nije usmjerena na ratove, religiju ili stroga moralna načela, nego na političku i društvenu stabilnost te potrošačka dobra. Ideološke i plemenske strasti koje su možda držale njihove pretke malo im znače na putu k njihovu cilju: da imaju kuću u predgrađu i dva automobila. Dok su njihovi preci slavili dan kad su im sinovi odlazili u rat, njima je glavna briga kako upisati djecu na dobra sveučilišta. A ljudi koji sa zavišću gledaju kako se drugi uzdižu pitat će se kada će doći njihovo vrijeme. Kenichi Ohamae, bivši čelnik tvrtke Mckinsey & Company, napisao je: "Ljudi će se neizbježno početi osvrtati oko sebe i pitati se zašto ne mogu imati ono što drugi imaju. Jednako tako, počet će se pitati zašto to nisu mogli imati u prošlosti."

•

Gospodarstvo, a ne oružje, novi je preduvjet za velesilu. Uspon EU i NAFTA-e podcrtava važnu činjenicu: završetkom Hladnog rata jasno je da svjetska sila može održati svoj dominantan položaj uglavnom kroz gospodarsku moć. Nuklearni ratovi su jednostavno preopasni, tako da će većinom gospodarska moć određivati sudbinu država. Jedan od čimbenika koji je doprinio raspadu Sovjetskog Saveza, bila je gospodarska iscrpljenost utrkom u naoružanju sa SAD-om (Kao što su savjetnici predsjednika Ronalda Reagana jednom komentirali, strategija SAD-a bila je iscrpiti Rusiju do potonuća, tj. toliko povećati ulaganje SAD-a u vojsku da bi Rusi, čije je gospodarstvo više nego upola manje od gospodarstva SAD-a, morali izgladnjivati vlastiti narod kako bi održali priključak.) Jasno je da će supersila u budućnosti moći održati svoj položaj samo kroz gospodarsku moć, a ona proizlazi iz znanosti i tehnologije.

•

Pojavljuje se planetarna kultura, utemeljena na kulturi mladih (rock and roll i mladenački stil), filmovima (hollywoodski hitovi), visokoj modi (luksuzna dobra) i hrani (široko rasprostranjeni lanci brze prehrane). Kamo god putovali, naći ćete primjere istih kulturnih trendova u glazbi, umjetnosti i modi. Hollywood, primjerice, pomno uzima u obzir svjetske zahtjeve kad procjenjuje uspjeh mogućeg filmskog hita. Filmovi s međukulturnim temama (kao što su akcijski i ljubavni filmovi), pojačani svjetski poznatim slavnim ličnostima, donose veliku zaradu Hollywoodu i dokaz su planetarne kulture u nastajanju.
To se vidjelo nakon Drugog svjetskog rata, kad je, po prvi put u povijesti, čitava generacija mladih ljudi imala na raspolaganju dovoljno prihoda da promijeni prevladavajuću kulturu. Prije su djecu slali u polja da se muče zajedno sa svojim roditeljima čim bi ušli u pubertet. (To je početak tromjesečnih ljetnih praznika. U srednjem vijeku se od djece tijekom ljeta zahtijevalo da obavljaju teške poslove u poljima čim bi bili dorasli.) Ali s porastom blagostanja, generacija poslijeratnog baby booma napustila je polja i krenula prema gradovima. Danas vidimo isti obrazac u sve više država jer gospodarski razvoj omogućuje mladima sve veće prihode. Postupno, kada većina svjetskog stanovništva postane srednja klasa, rastući prihodi će se prenijeti na njihovu mladež omogućujući održanje te planetarne mladenačke kulture.
Rock and roll, hollywoodski filmovi i sl. izvrstan su primjer kako intelektualni kapitalizam

zamjenjuje kapitalizam roba. Roboti nadolazećih desetljeća bit će neprimjenjivi u stvaranju glazbe i filmova koji mogu oduševiti međunarodnu publiku.
To se događa i u svjetskoj modi, gdje nekoliko brendova širi svoj utjecaj diljem svijeta. Visoka moda, nekad rezervirana za aristokraciju i krajnje bogate ljude, brzo se širi svijetom jer sve više ljudi ulazi u srednju klasu i teži glamuru bogatih. Visoka moda više nije isključivo područje privilegirane elite.
No, pojava planetarne kulture ne znači da će lokalne kulture i običaji biti izbrisani. Umjesto toga, ljudi će biti bikulturalni. S jedne strane, održat će svoje lokalne kulturne tradicije na životu (a internet jamči da će ti regionalni običaji preživjeti zauvijek). Bogata kulturna raznolikost svijeta nastavit će se i u budućnosti. Štoviše, neka nepoznata obilježja lokalnih kultura mogu se proširiti svijetom putem interneta, koji im može osigurati publiku u cijelom svijetu. S druge strane, ljudi će biti vješti u mijenjanju trendova koji pogađaju svjetsku kulturu. S ljudima iz druge kulture komunicirat će se kroz svjetsku kulturu. To je već slučaj s brojnim elitama na planetu: govore lokalni jezik i poštuju lokalne običaje, ali u odnosima s ljudima iz drugih zemalja koriste engleski i slijede međunarodne običaje. To je obrazac za civilizaciju Tipa 1 koja se pojavljuje. Lokalne kulture će nastaviti napredovati, postojeći usporedno s većom, svjetskom kulturom.

•
Vijesti postaju planetarne. Uz satelitsku televiziju, mobitele, internet itd., postaje nemoguće da jedna država kontrolira i filtrira vijesti. Neobrađene fotografije pojavljuju se sa svih strana svijeta, izvan dometa cenzure. Čim izbiju ratovi ili prevrati, neobrađene slike trenutno se odašilju širom svijeta, uživo. U prošlosti je velikim silama devetnaestog stoljeća bilo relativno lako nametnuti svoje vrijednosti i krivotvoriti vijesti. Danas je to još uvijek moguće, ali u mnogo manjoj mjeri, zbog napredne tehnologije. Također, povećanjem razine obrazovanja u svijetu, sve je više publike za svjetske vijesti. Političari danas moraju uzeti u obzir svjetska stajališta kada razmišljaju o posljedicama svojih postupaka.

•
Sportovi, koji su u prošlosti bili bitna sastavnica u stvaranju plemenskog, a onda i nacionalnog identiteta, danas stvaraju planetarni identitet. Nogomet i Olimpijske igre izrastaju u dominantne sportove. Olimpijske igre iz 2008. se, primjerice, tumači kao nastupnu zabavu za Kineze koji su željeli zauzeti kulturni položaj koji im s pravom pripada nakon stoljeća izolacije. To je također primjer načela pećinskog čovjeka, budući da su sportovi isključivo ljudska stvar, ali ulaze u svijet visoke tehnologije.

•
Prijetnje okolišu također su tema rasprava na planetarnoj razini. Države shvaćaju da zagađenje koje stvaraju prelazi državne granice i može iznjedriti međunarodnu krizu. To smo prvi put vidjeli kada je nastala velika ozonska rupa iznad Južnog pola. Budući da ozonski sloj sprječava štetnim UV i rendgenskim zrakama da dospiju na površinu Zemlje, države su se udružile u ograničavanju proizvodnje i uporabe klorofluorougljikovodika koji se koriste u rashladnim uređajima i industrijskim sustavima. Montrealski protokol potpisan je 1987. i uspješno smanjena uporaba kemijskih spojeva koji oštećuju ozon. Potaknute tim međunarodnim uspjehom, većina država usvojila je i protokol iz Kyota 1997., da bi se suočile s prijetnjom globalnog zagrijavanja, koje je još ozbiljnija prijetnja okolišu na Zemlji.

•
Turizam je jedna od najbrže rastućih gospodarskih grana na planetu. Tijekom većeg dijela povijesti bilo je uobičajeno da ljudi prožive čitav život u krugu nekoliko kilometara od mjesta

rođenja. No, danas se može putovati diljem svijeta sa skromnim izdacima. Današnja mladež s naprtnjačama koja odsjeda u jeftinim hostelima diljem svijeta, postat će predvodnici sutrašnjice. Neki prigovaraju da turisti vrlo slabo razumiju lokalne kulture, povijesti i politike. Ali, moramo to staviti na vagu s prošlošću, kad gotovo uopće nije bilo dodira među udaljenim kulturama, osim u vrijeme rata, često s tragičnim ishodima.

•

Također, pad cijena interkontinentalnih putovanja ubrzava povezivanje između različitih naroda, što otežava upuštanje u ratove i širi ideale demokracije. Jedan od glavnih čimbenika koji su izazivali neprijateljstvo među narodima bio je nerazumijevanje među ljudima. Općenito, vrlo je teško povesti rat protiv naroda koji dobro poznajete.

•

Sama priroda ratovanja se mijenja u skladu s tom novom spoznajom. Povijest je pokazala da dvije demokratske države gotovo nikad ne pokreću međusobne ratove. Gotovo svi ratovi u prošlosti vodili su se između nedemokratskih država, ili između demokratske i nedemokratske države. Općenito, ratnu groznicu lako mogu izazvati demagozi koji neprijatelja prikazuju kao iskonsko zlo. Ali, u demokraciji s utjecajnim novinarstvom, oporbenim strankama i zadovoljnom srednjom klasom koja mnogo može izgubiti u ratu, mnogo je teže stvoriti ratnu groznicu. Teško je izazvati ratnu groznicu pored kritičnog novinarstva i majki koje žele znati zašto njihova djeca idu u rat.
I u budućnosti će biti ratova. Kao što je pruski vojni teoretičar Carl von Clausewitz jednom rekao: "Rat je politika drugim sredstvima." Iako će i dalje biti ratova, njihova priroda će se promijeniti širenjem demokracije po svijetu.
(Postoji još jedan razlog zašto je sve teže povesti rat sada kad svijet postaje sve bogatiji i ljudi imaju sve više za izgubiti. Politički teoretičar Edward Luttwak je napisao da je ratove danas teže pokretati jer su obitelji manje. U prošlosti su obitelji imale oko desetoro djece; najstarije bi naslijedilo farmu, dok bi se mlađa braća pridružila Crkvi, vojsci, ili bi tražila sreću negdje drugdje. Danas, kad prosječna obitelj ima 1,5 djece, više nema dovoljno djece da se lako popune mjesta u vojsci i svećenstvu. Stoga će biti sve teže voditi ratove, posebno između demokratskih država i gerila zemalja u razvoju.)

•

Države će slabiti, ali će još uvijek postojati 2100. godine. Još uvijek će biti potrebne da donose zakone i rješavaju lokalne probleme. Međutim, njihova moć i utjecaj značajno će se umanjiti kada pokretači gospodarskog rasta postanu regionalni, a onda i globalni. Na primjer, usponom kapitalizma kasnih 1700-tih i ranih 1800-tih godina, države su bile potrebne da nametnu zajedničku valutu, jezik, porezne zakone i uredbe o trgovini i patentima. Vlade država brzo su ukinule feudalne zakone i običaje koji su sprječavali napredak slobodne trgovine, gospodarstva i financija. Obično bi taj proces trajao oko stoljeća, ali vidjeli smo i ubrzanu verziju kad je 1871. željezni kancelar Otto von Bismarck stvorio novu njemačku državu. Prijelaz prema civilizaciji Tipa 1 na isti način mijenja prirodu kapitalizma, a gospodarska moć postupno prelazi s državnih vlada na regionalne snage i trgovinske blokove.
To ne znači nužnost svjetske vlade. Mnogo je načina na koje može postojati svjetska civilizacija. Jasno je da će državne vlade gubiti utjecaj, ali što će ih zamijeniti ovisit će o mnogim povijesnim, kulturnim i nacionalnim trendovima koje je teško predvidjeti.

•

Bolesti će se kontrolirati na planetarnoj razini. U davnoj prošlosti zarazne bolesti nisu bile

toliko opasne jer je ljudska populacija bila vrlo mala. Primjerice, neizlječivi virus ebole je u razdoblju od više tisuća godina vjerojatno zarazio tek nekoliko sela. No, brzi prodor civilizacije u prethodno nenastanjena područja i razvoj gradova zahtijevaju da se vrlo pomno nadzire nešto kao što je virus ebole.

Kad gradska populacija dosegne brojku od nekoliko stotina tisuća do milijun stanovnika, bolesti se mogu vrlo brzo proširiti i stvoriti prave epidemije. Činjenica da je kuga usmrtila možda i polovicu europskog stanovništva bila je, ironično, znak napretka jer je broj stanovništva dosegao kritičnu masu potrebnu za epidemiju, a trgovački putovi povezivali su drevne svjetske gradove.

Nedavna pojava H1N1 virusa također je pokazatelj našeg napretka. Bolest se, vjerojatno iz Mexico Cityja, brzo proširila diljem svijeta putem zračnog prometa. Ali, što je važnije, trebalo je samo nekoliko mjeseci da države svijeta izdvoje gene virusa i zatim proizvedu cjepivo koje je bilo dostupno desecima milijuna ljudi.

TERORIZAM I DIKTATURE

Međutim, postoje skupine koje se nagonski opiru težnji prijelaza prema planetarnoj civilizaciji Tipa 1, jer znaju da je napredna, slobodna, znanstvena, uspješna i obrazovana. Te snage možda nisu svjesne te činjenice niti je mogu jasno izgovoriti, ali se u biti bore protiv trenda prijelaza prema civilizaciji Tipa 1. To su:

- Islamski teroristi koji bi se radije vratili tisuću godina unatrag, u 11. stoljeće, negoli živjeli u 21. stoljeću. Ne mogu na taj način izraziti svoje nezadovoljstvo, ali sudeći po njihovim vlastitim izjavama, najradije bi živjeli u teokraciji, gdje su i znanost i međuljudski odnosi i politika podložni strogim vjerskim uredbama. (Zaboravljaju da su, povijesno, veličina, znanstvena i tehnološka snaga islamske civilizacije išli usporedo s njezinom otvorenošću prema novim idejama. Ti teroristi ne razumiju pravi izvor veličine islamske prošlosti.)

- Diktature koje ovise o tome da svoj narod drže u neznanju o bogatstvu i napretku vanjskog svijeta. Očit primjer toga bili su prosvjedi koji su izbili 2009. u Iranu, kad je vlada pokušala suzbiti ideje prosvjednika koji su se u nastojanjima da prenesu svoju poruku svijetu služili Twitterom i YouTubeom.

Nekoć su ljudi govorili da je pero jače od mača. U budućnosti će čip biti jači od mača.

Jedan od razloga zbog kojih se narod Južne Koreje, strašno osiromašene zemlje, ne buni, jest činjenica da im je uskraćen doticaj sa svijetom, čiji stanovnici, uvjereni su, također gladuju. Dijelom zbog toga što ne shvaćaju da ne moraju prihvatiti svoju sudbinu, oni trpe nevjerojatnu oskudicu.

CIVILIZACIJE TIPA 2

Kad društvo tisućama godina u budućnosti dosegne stanje Tipa 2, postat će besmrtno. Ništa što znanost poznaje ne može uništiti civilizaciju Tipa 2. Budući da je takva civilizacija odavno ovladala vremenskim prilikama, može izbjeći ili mijenjati ledena doba. Može i odvratiti meteore i komete. Čak i ako njihovo sunce uđe u stadij supernove, narod će moći pobjeći u sustav neke druge zvijezde, a možda čak i spriječiti da njihovo sunce eksplodira. (Npr., ako njihovo sunce

postane crveni div, možda bi mogli zamahnuti asteroidima u blizini svog planeta i iskoristiti njihovo gravitacijsko povlačenje da pomaknu svoj planet dalje od sunca.)

Jedan od načina na koji bi civilizacija Tipa 2 mogla iskoristiti svu energiju koju emitira zvijezda jest da oko nje stvori ogromnu sferu koja bi upijala svu svjetlost te zvijezde. To je tzv. Dysonova sfera.

Civilizacija Tipa 2 vjerojatno će živjeti u miru. Budući da su svemirska putovanja vrlo zahtjevna, bit će civilizacija Tipa 1 stoljećima prije nego dosegne razinu Tipa 2, što daje vremena na pretek da se izglade sve podjele unutar njenog društva. Do vremena kada civilizacija Tipa 1 dosegne stadij Tipa 2 kolonizirat će ne samo čitav svoj sunčev sustav, nego i obližnje zvijezde, možda i nekoliko stotina svjetlosnih godina udaljene, ali ne mnogo dalje. I dalje će biti ograničena brzinom svjetlosti.

CIVILIZACIJE TIPA 3

Do vremena kada civilizacija dosegne razinu Tipa 3, istražit će većinu galaksije. Najprikladniji način da se posjeti stotine milijardi planeta jest da se diljem galaksije pošalju bespilotne robotske letjelice sposobne da se same repliciraju. Von Neumannova sonda je robot koji ima sposobnost da načini neograničen broj svojih kopija: može sletjeti na Mjesec (gdje nema hrđe ni nagrizanja) i napraviti tvornicu od mjesečevog praha koja stvara tisuće njezinih kopija. Svaka se kopija lansira u druge udaljene zvjezdane sustave, gdje stvara tisuće novih kopija. Počevši od samo jedne sonde, ubrzo bismo imali sferu od trilijuna takvih sondi koja bi se širila brzinom bliskom brzini svjetlosti i snimila cijelu Mliječnu stazu za samo 100 000 godina. Budući da je svemir star 13,7 milijardi godina, bilo je dovoljno vremena u kojem su mogle nastati (i nestati) takve civilizacije. (Tako brz, eksponencijalan rast ima i mehanizam kojim se virusi šire u našem tijelu.)

Postoji, međutim, i druga mogućnost. Do vremena kad civilizacija dosegne razinu Tipa 3, imat će dovoljno zaliha energije da istraži "Planckovu energiju", tj. 1019 milijardi elektronvolta, što je energija na kojoj i samo prostorvrijeme postaje nestabilno. (Planckova energija je 1015 puta veća od energije koju proizvodi najjači akcelerator čestica, Veliki hadronski sudarač u blizini Ženeve. To je energija na kojoj se konačno slama i Einsteinova teorija gravitacije. Teoretski se predviđa da se na toj energiji kida građa prostorvremena i otvaraju mali prolazi koji bi mogli voditi u druge svemire ili do drugih točaka prostorvremena.) Ovladavanje takvom ogromnom energijom zahtijevalo bi divovske, nezamislive strojeve, koji bi mogli omogućiti prečace kroz građu prostorvremena, bilo sažimanjem prostora, bilo prolaskom kroz crvotočine. Uz pretpostavku da nadvlada brojne žilave teoretske i praktične zapreke (kao što je ovladavanje dovoljnom količinom pozitivne i negativne energije i uklanjanje nestabilnosti), moguće je zamisliti da civilizacija Tipa 3 uspije kolonizirati čitavu galaksiju.

To je navelo mnoge da nagađaju zašto nas još nisu posjetili. Gdje su? – pitaju se kritičari.

Jedan od mogućih odgovora je da su nas možda i posjetili, ali smo mi previše primitivni da bismo to opazili. Samoumnažajuće Von Neumannove sonde bile bi najpraktičniji način istraživanja galaksije, a ne moraju biti ni velike. Mogle bi biti veličine svega nekoliko centimetara, zahvaljujući revolucionarnom napretku u nanotehnologiji. Možda su nam pred očima, ali ih ne prepoznajemo jer očekujemo nešto drugo, npr. svemirski brod s vanzemaljcima iz dalekog svemira. Više je nego vjerojatno da će sonde biti potpuno automatske, dijelom organske, dijelom elektroničke i bez ijednog vanzemaljca.

A kad jednom doista i sretnemo vanzemaljce, mogli bismo se iznenaditi, jer oni su možda već odavno izmijenili svoju biologiju koristeći robote, nanotehnologiju i biotehnologiju.

Druga je mogućnost da su doživjeli samouništenje. Kao što smo spomenuli, prijelaz s Tipa 0 na Tip 1 je najopasniji, jer tada još uvijek postoje divljaštvo, fundamentalizam, rasizam i slični utezi prošlosti. Moguće je da jednog dana, kad posjetimo zvijezde, nađemo dokaze o postojanju civilizacije Tipa 0 koja nije uspjela učiniti prijelaz do Tipa 1 (npr. njihove atmosfere bi mogle biti prevruće, ili previše radioaktivne da bi mogle podržati život).

SETI (POTRAGA ZA VANZEMALJSKOM INTELIGENCIJOM)

U današnje vrijeme ljudi zasigurno nisu svjesni napredovanja prema planetarnoj civilizaciji Tipa 1. Nema kolektivne samosvijesti o odvijanju tog povijesnog prijelaza. Da provedete anketu, neki bi možda bili donekle svjesni procesa globalizacije, ali osim toga nema spoznaje da idemo određenom cilju.

Sve bi se to moglo odjednom promijeniti kad bismo pronašli dokaze o inteligentnom životu izvan Zemlje. Tada bismo odmah bili svjesni naše tehnološke razine u odnosu na tu vanzemaljsku civilizaciju. Posebno bi znanstvenici bili jako znatiželjni po pitanju tehnologija kojima je ovladala vanzemaljska civilizacija.

Iako se ne može sa sigurnošću reći, uz brz napredak naše tehnologije vjerojatno ćemo još u ovom stoljeću u svemiru otkriti neku naprednu civilizaciju.

Dva su kretanja to omogućila. Prvo je lansiranje COROT i Kepler satelita posebno napravljenih za otkrivanje malih, stjenovitih planeta izvan Sunčevog sustava. Očekuje se da će satelit Kepler u svemiru otkriti do 600 malih planeta nalik na Zemlju. Nakon što se ti planeti otkriju, sljedeći će korak biti pronaći možebitne tragove inteligentnog života na njima.

Microsoftov milijarder Paul Allen počeo je 2001. donirati sredstva, sada već više od 30 milijuna američkih dolara, za pokretanje zastalog projekta SETI. To će značajno povećati broj radio teleskopa u postavu Hat Creek, smještenom sjeverno od San Francisca. Kad bude u punom pogonu, Allen Telescope Array imat će 350 radio teleskopa, što će ga činiti najnaprednijim radio teleskopskim postavom na svijetu. Dok su u prošlosti astronomi promotrili tek nešto više od 1000 zvijezda u potrazi za inteligentnim životom, novi Allen Array će taj broj povećati 1000 puta, na milijun zvijezda.

Iako su znanstvenici uzalud gotovo pedeset godina tražili znakove naprednih civilizacija, tek su nedavno ta dva napretka dala prijeko potreban poticaj programu SETI. Mnogi astronomi misle da je bilo jednostavno premalo truda i sredstava namijenjenih tom projektu. S tim dotokom novih sredstava i novih podataka, program SETI postaje ozbiljan znanstveni projekt.

Nije nezamislivo da ćemo u tom stoljeću opaziti znakove inteligentnih civilizacija u svemiru. (Seth Shostak, ravnatelj Instituta SETI u Zaljevskom području San Francisca rekao mi je da očekuje da ćemo u roku od dvadeset godina uspostaviti vezu s takvom civilizacijom. To je možda preoptimistično, ali možemo reći da bi bilo čudno da unutar tog stoljeća ne opazimo znakove druge civilizacije u svemiru.)

Ako naiđemo na znakove neke napredne civilizacije, to bi mogla biti jedna od najznačajnijih prekretnica u ljudskoj povijesti. U hollywoodskim filmovima voli se prikazivati kaos koji bi to moglo prouzročiti, s prorocima koji nam govore da je kraj blizu, s ludim vjerskim kultovima koji

rade prekovremeno, itd.

Stvarnost je, međutim, malo prizemnija. Neće biti potrebe da se odmah paničari, jer ta civilizacija možda neće ni znati da prisluškujemo njihove razgovore. A ako i budu znali, izravna komunikacija između njih i nas bit će teško ostvariva, zbog njihove ogromne udaljenosti od nas. Kao prvo, trebat će možda mjeseci ili godine da u potpunosti odgonetnemo pristigle poruke, a zatim i rangiramo tehnologiju te civilizacije i vidimo uklapa li se u Kardaševljevu ljestvicu. Kao drugo, izravna komunikacija s njima vjerojatno će biti neizvediva, jer će ta civilizacija biti udaljena mnogo svjetlosnih godina, predaleko za bilo kakav izravan kontakt. Stoga ćemo biti u mogućnosti da samo promatramo tu civilizaciju, ne i da vodimo bilo kakve razgovore s njima. Ulagat će se napori u izgradnju divovskih radio odašiljača kojima bi se mogle poslati poruke vanzemaljcima. No, zapravo bi još mogla proći stoljeća prije nego što bude moguća ikakva dvosmjerna komunikacija s tom civilizacijom.

NOVE KLASIFIKACIJE

Kardaševljeva klasifikacija uvedena je 1960-ih godina, kad je fizičare zanimala proizvodnja energije. Međutim, izrazitim povećanjem moći računala pažnja je preusmjerena na informatičku revoluciju u kojoj je broj bitova koje može obraditi neka civilizacija postao jednako važan kao i njena proizvodnja energije.

Možemo npr. zamisliti vanzemaljsku civilizaciju u kojoj ne postoje računala, jer njihova atmosfera provodi električnu struju. U takvom bi okružju u svakoj električnoj napravi ubrzo nastao kratki spoj i prštale bi iskre pa bi bili mogući samo najjednostavniji električni uređaji.

Bilo kakav veliki generator ili računalo ubrzo bi pregorjeli. Možemo zamisliti da bi takva civilizacija postupno ovladala fosilnim gorivima i nuklearnom energijom, ali njezino društvo ne bi bilo u mogućnosti obraditi velike količine informacija. Bilo bi im teško stvoriti internet ili planetarni telekomunikacijski sustav, tako da bi njihov gospodarski i znanstveni napredak bio usporen. Iako bi se mogli penjati na Kardaševljevoj ljestvici, to bi išlo vrlo sporo i bolno bez računala.

Stoga je Carl Sagan uveo novu ljestvicu, utemeljenu na obradi informacija. Smislio je sustav u kojem slova abecede, od A do Z, odgovaraju informacijama. Civilizacija Tipa A je ona koja može obraditi milijun informacija, što odgovara civilizaciji koja ima samo govor, ali ne i pismo. Ako skupimo sve informacije koje su preživjele od antičke Grčke, u kojoj su cvjetali pismo i književnost, to je oko milijardu bitova informacija, što je čini civilizacijom Tipa C. Uzdižući se na ljestvici možemo procijeniti količinu informacija koju obrađuje naša civilizacija. Teoretski, to nas određuje kao civilizaciju Tipa H. Dakle, uzevši u obzir energiju i obradu informacija, naša je civilizacija Tipa 0,7 H.

U posljednjih nekoliko godina iskrsnula je nova briga: zagađenje i otpad. Energija i informacije nisu dovoljni da se rangira civilizacija. Zapravo, što više energije civilizacija troši, i što više informacija izbacuje, to više zagađenja i otpada može proizvesti. Ovo nije samo akademsko pitanje, jer bi civilizacije Tipa 1 ili 2 mogao uništiti njihov otpad.

Civilizacija Tipa 2 primjerice troši svu energiju koju proizvodi zvijezda. Pretpostavimo da je učinkovitost njenih strojeva 50 posto, što znači da polovica neiskorištene energije prelazi u toplinu. To može imati katastrofalne posljedice, jer će temperatura planeta rasti dok se ne rastali! Zamislite planet s milijardama elektrana na ugljen, koje rigaju velike količine topline i plinova

zagrijavajući planet do te mjere da život na njemu postane nemoguć.

Freeman Dyson je zapravo pokušao u svemiru pronaći civilizacije Tipa 2 pretražujući objekte čije se zračenje sastoji u prvom redu od infracrvenog, a ne rendgenskog zračenja i svjetlosti. Razlog tome je što bi civilizacija Tipa 2, čak i kad bi htjela sakriti svoju prisutnost od radoznalih pogleda izgradnjom sfere oko sebe, neizbježno proizvodila dovoljno otpadne topline da bi "sjajila" u infracrvenom području. Zato je predložio da astronomi potraže zvjezdane sustave koji zrače uglavnom u infracrvenom području. (Međutim, nijedan takav sustav nije pronađen.)

To izaziva zabrinutost da bi bilo koja civilizacija koja dozvoli neobuzdan razvoj svoje energije mogla počiniti samoubojstvo. Vidimo, dakle, da energija i informacije nisu dovoljne da osiguraju opstanak civilizacije dok se uzdiže na ljestvici. Trebamo novu ljestvicu, onu koja uzima u obzir učinkovitost, otpadnu toplinu i zagađenje. Takva ljestvica zasniva se na entropiji.

POREDAK CIVILIZACIJA PREMA ENTROPIJI

U idealnom slučaju želimo civilizaciju koja će jačati u energetskom i informacijskom smislu, ali mudro, tako da njezin planet ne postane nepodnošljivo vruć ili zatrpan smećem.

To je zorno prikazano u Disneyevu filmu Wall-E, gdje smo, u dalekoj budućnosti, toliko zagadili i opustošili Zemlju da smo naprosto ostavili nered iza sebe i vodimo hedonističke živote u luksuznim kruzerima koji lutaju svemirom.

Ovdje postaju važni zakoni termodinamike. Prvi zakon termodinamike naprosto kaže da ne možete dobiti nešto ni za što, tj. nema ništa zabadava. Drugim riječima, ukupna količina tvari i energije u svemiru je nepromjenjiva. Ali, kao što smo vidjeli u trećem poglavlju, drugi zakon je najzanimljiviji, i zapravo bi mogao u konačnici odrediti sudbinu napredne civilizacije. Jednostavno rečeno, drugi zakon termodinamike kaže da se ukupan iznos entropije (neuređenosti ili kaosa) uvijek povećava. To znači da sve mora proći; predmeti moraju trunuti, propadati, hrđati, starjeti ili se raspadati. (Ukupna entropija nikada se ne smanjuje. Primjerice, nikad ne vidimo da pržena jaja skoče iz tave i vrate se u ljusku. Nikad ne vidimo da se kristali šećera odjednom "od-rastope" i vrate iz šalice kave u žlicu. Takvi su događaji toliko rijetki da riječ "od-rastopiti" ne postoji u engleskom, ni u bilo kojem drugom, jeziku.)

Dakle, ako civilizacije budućnosti budu slijepo proizvodile energiju na razvojnom putu prema civilizaciji Tipa 2 ili 3, proizvest će toliko otpadne topline da će njihov planet postati nenaseljiv. Entropija u obliku otpadne topline, kaosa i zagađenja u suštini će uništiti njihovu civilizaciju. Slično, ako bude proizvodila informacije, rušeći čitave šume i stvarajući brda otpadnog papira, civilizacija će biti pokopana u vlastitom informacijskom otpadu.

Stoga moramo uvesti još jednu ljestvicu po kojoj ćemo rangirati civilizacije. Moramo uvesti još dva nova tipa civilizacija. Prva je civilizacija koja "čuva entropiju", koja koristi sva raspoloživa sredstva da bi upravljala prekomjernim gubicima i toplinom. Dok njezine potrebe za energijom nastavljaju eksponencijalno rasti, shvaća da bi njezina potrošnja energije mogla promijeniti planetarni okoliš, čineći život na njemu nemogućim. Ukupna neuređenost ili entropija koju stvara napredna civilizacija nastavit će rasti, to je neizbježno. Ali, lokalna entropija na njihovom planetu može se smanjiti ako budu koristili nanotehnologiju i obnovljivu energiju da uklone gubitke i neučinkovitost.

Druga civilizacija, "entropijom rastrošna" civilizacija, nastavlja neograničeno povećavati

svoju potrošnju energije. S vremenom, ako domicilni planet postane nenastanjiv, civilizacija može pokušati izbjeći katastrofu šireći se na druge planete. No, trošak stvaranja kolonija u svemiru će ograničiti njezinu mogućnost širenja. Ako njezina entropija bude rasla brže nego njezina sposobnost širenja na druge planete, suočit će se s katastrofom.

OD GOSPODARA PRIRODE DO ČUVARA PRIRODE

Kao što smo ranije spomenuli, u davna smo vremena bili pasivni promatrači plesa prirode, gledajući u čudu sve tajne oko nas. Danas smo poput koreografa prirode, u mogućnosti da tu i tamo podešavamo prirodne sile. A do 2100. postat ćemo gospodarima prirode, koji će moći mislima pomicati predmete, upravljati životom i smrću, dosežući zvijezde.

No, ako postanemo gospodari prirode, morat ćemo postati i njezini čuvari. Ako dopustimo da entropija neograničeno raste, neizbježno ćemo izumrijeti prema zakonima termodinamike. Civilizacija Tipa 2, po definiciji, troši energije koliko i zvijezda pa će stoga površinska temperatura planeta biti užareno vruća ako se dopusti nesmanjen rast entropije. Međutim, postoje načini da se upravlja porastom entropije.

Primjerice, kad posjetimo muzej i tamo vidimo velike parne strojeve devetnaestog stoljeća, njihove ogromne parne kotlove i spremnike kamenog ugljena, vidimo koliko su bili neučinkoviti, rasipajući energiju i stvarajući goleme količine topline i zagađenja. Ako ih usporedimo s tihim i uglađenim električnim vlakovima, vidimo koliko učinkovitije danas koristimo energiju. Potreba za divovskim elektranama na ugljen, koje izbacuju velike količine otpadne topline i zagađenja u zrak, može se uvelike smanjiti ako naši uređaji budu energetski učinkoviti kroz obnovljivu energiju i minijaturizaciju. Nanotehnologija nam pruža mogućnost daljnjeg smanjenja otpadne topline smanjivanjem strojeva do atomskih dimenzija.

Također, ako u tom stoljeću otkrijemo supravodiče na sobnoj temperaturi, to će značiti potpun preokret u našim energetskim potrebama. Otpadna toplina u obliku trenja uvelike će se smanjiti, što će povećati učinkovitost naših strojeva. Kao što smo spomenuli, većina naše potrošnje energije, posebno u prometu, otpada na svladavanje trenja. Zbog toga moramo lijevati gorivo u svoje automobile, iako put od Kalifornije do New Yorka ne bi zahtijevao gotovo nimalo energije da nema trenja. Možemo zamisliti da će napredna civilizacija moći izvesti mnogo više zadataka s manje energije nego što je mi danas koristimo. To znači da ćemo možda moći postaviti brojčane granice na entropiju što je proizvodi napredna civilizacija.

NAJOPASNIJI PRIJELAZ

Prijelaz s naše sadašnje civilizacije Tipa 0 na buduću civilizaciju Tipa 1 možda je najveći prijelaz u povijesti. Odredit će hoćemo li se nastaviti razvijati i cvjetati, ili ćemo nestati zbog vlastite gluposti. Taj prijelaz je posebno opasan jer još uvijek imamo svu onu barbarsku surovost koja je obilježila naš bolni uspon iz blata. Ako zagrebemo ispod površine naše civilizacije, još uvijek ćemo na djelu naći sile fundamentalizma, sektaštva, rasizma, netrpeljivosti, itd. Ljudska se narav nije mnogo promijenila u posljednjih 100 000 godina, samo sada imamo nuklearno, kemijsko i biološko oružje za poravnanje starih dugova.

Međutim, kad jednom postanemo civilizacija Tipa 1, imat ćemo stoljeća i stoljeća da pomirimo svoje razlike. Kao što smo vidjeli u ranijim poglavljima, kolonije u svemiru će i ubuduće biti vrlo skupe, tako da je malo vjerojatno da će značajan dio svjetskog stanovništva otići

da bi kolonizirali Mars ili asteroidni pojas. Dok potpuno nove konstrukcije raketa ne smanje trošak ili dok se ne izgradi svemirsko dizalo, svemirska putovanja će i dalje biti privilegija državnih vlada i bogatih. Za većinu stanovništva Zemlje to znači da će ostati na planetu kad dosegnemo razinu civilizacije Tipa 1. To također znači da ćemo kao civilizacija Tipa 1 imati stoljeća da izgladimo svoje nesporazume.

POTRAGA ZA MUDROŠĆU

Živimo u uzbudljiva vremena. Znanost i tehnologija nam otvaraju svjetove o kojima smo ranije mogli samo sanjati. Kad gledam u budućnost znanosti, sa svim njezinim izazovima i opasnostima, vidim iskrenu nadu. U dolazećim desetljećima otkrit ćemo više o prirodi nego u cijeloj ljudskoj povijesti zajedno – višestruko više.

Ali, nije uvijek bilo tako.

Sjetimo se riječi Benjamina Franklina, posljednjeg velikog američkog znanstvenika i državnika, kad je radio predviđanja ne samo za sljedeće stoljeće, nego za sljedećih tisuću godina. Sa žaljenjem je 1870. naglasio da se ljudi često ponašaju poput vukova jedni prema drugima, većinom pod pritiskom tereta preživljavanja u grubom svijetu.

Napisao je: "Nemoguće je zamisliti do koje će se mjere uzdići čovjekova moć nad materijom za tisuću godina. Možda ćemo moći lišiti velike mase njihove gravitacije i dati im apsolutnu lakoću, za potrebe lakog prijevoza. U poljoprivredi će se smanjiti rad, a udvostručiti proizvodnja, sve bolesti će se moći na siguran način spriječiti ili izliječiti, uključujući i starost, životi će nam se produžiti po volji, čak i preko pretpotopnih standarda."

Pisao je to u vrijeme kad su seljaci izorali samo golu egzistenciju iz zemlje, kad su volovska kola dovozila trule proizvode na tržnice, kada su kuga i glad bile životna činjenica, a samo je nekolicina sretnika živjela dulje od četrdeset godina. (U Londonu je 1750. dvije trećine djece umrlo prije nego su navršila pet godina.) Franklin je živio u vrijeme kad se činilo beznadnim da ćemo jednog dana moći riješiti te stare probleme. Ili, kako je 1651. napisao Thomas Hobbes, život je bio "usamljenički, sirotinjski, težak, okrutan i kratak".

No, danas, daleko prije isteka Franklinovih 1000 godina, njegova se predviđanja počinju ostvarivati.

Ta vjera – da će nas razum, znanost i intelekt jednog dana osloboditi povijesnih tjeskoba – izražena je 1795. u djelu Marquisa de Condorceta Nacrt povijesne slike napretka ljudskog uma, za koje neki tvrde da je najtočnije predviđanje budućih događaja ikad napisano. Iznio je raznovrsne pretpostavke, od kojih su sve bile heretične, ali su se sve ostvarile. Predvidio je da će se kolonije u Novom svijetu s vremenom odijeliti od Europe i zatim ubrzano napredovati koristeći se europskim tehnologijama. Predvidio je ukidanje ropstva posvuda. Predvidio je da će se na farmama značajno povećati količina i kvaliteta hrane proizvedene po rali. Predvidio je da će se znanost brzo razvijati i koristiti čovječanstvu. Predvidio je da ćemo se osloboditi tegoba svakodnevice i imati više slobodnog vremena. Predvidio je da će kontracepcija jednog dana biti široko rasprostranjena.

Godine 1975. činilo se beznadnim da će se ta predviđanja ostvariti.

Benjamin Franklin i Marquise de Condorcet obojica su živjeli u vrijeme kad je život bio kratak i okrutan, a znanost je bila tek u povojima. Osvrćući se na ta predviđanja možemo na pravi način cijeniti napredak postignut u znanosti i tehnologiji, koji je stvorio bogatstva da podigne

milijarde iz surovosti prošlosti. Osvrćući se na Franklina i Condorceta uviđamo da je od svih izuma čovječanstva daleko najvažniji bio izum znanosti. Znanost nas je podigla iz dubokog blata do zvjezdanog praga.

Ali, znanost ne miruje. Kao što smo već spomenuli, do 2100. imat ćemo moć mitskih bogova koje smo nekada štovali i bojali ih se. Posebno, računalna revolucija trebala bi nam omogućiti da upravljamo materijom pomoću vlastitih misli, biotehnološka revolucija trebala bi nam omogućiti da stvaramo život gotovo po narudžbi i da produžimo životni vijek, a nanotehnološka revolucija mogla bi nam omogućiti da mijenjamo oblik predmeta ili čak da ih stvaramo ni iz čega. Sve bi to s vremenom moglo dovesti do nastanka planetarne civilizacije Tipa 1. Stoga je generacija koja danas živi najvažnija koja je ikada živjela na Zemlji, jer mi ćemo odrediti hoćemo li dosegnuti razinu civilizacije Tipa 1, ili ćemo pasti u ponor.

Sama po sebi, znanost je moralno neutralna. Ona je kao dvosjekli mač. Jedna oštrica može se boriti protiv siromaštva, bolesti i neznanja, ali druga se može okrenuti protiv ljudi. Kako se rukuje tim moćnim mačem ovisi o mudrosti rukovatelja.

Kao što je Einstein jednom rekao: "Znanost može samo utvrditi kako jest, ali ne i kako bi trebalo biti; a izvan njenog područja, nužni su vrijednosni sudovi." Znanost rješava neke od problema, ali pri tome stvara nove, na višoj razini.

Za vrijeme Prvog i Drugog svjetskog rata vidjeli smo surovu, razornu stranu znanosti. Svijet se s jezom osvjedočio kako znanost može dovesti do rušenja i razaranja dotad neviđenih razmjera, uvođenjem bojnih otrova, strojnica, bombardiranja čitavih gradova napalm bombama i atomskim bombama. Divljaštvo prvog dijela dvadesetog stoljeća oslobodilo je nasilje neshvatljivih razmjera.

Ali, znanost je također omogućila čovječanstvu obnovu i uzdizanje iz ratnih ruševina, gradeći mir i blagostanje milijardama ljudi. Stoga je istinska snaga znanosti to što nam daje snagu i sposobnost, nudeći nam više mogućnosti. Znanost jača inovativni, kreativni i duh postojanosti čovječanstva, ali i naše očite mane.

KLJUČ ZA BUDUĆNOST: MUDROST

Ključno je, dakle, pronaći mudrost potrebnu za rukovanje mačem znanosti. Kao što je filozof Immanuel Kant jednom rekao: "Znanost je organizirano znanje. Mudrost je organiziran život." Moje mišljenje je da je mudrost sposobnost da prepoznamo ključne probleme našeg vremena, analiziramo ih iz mnogo različitih kutova i stajališta i onda izaberemo onaj koji će iznjedriti neki plemenit cilj ili načelo.

U našem društvu nije lako doći do mudrosti. Kao što je Isaac Asimov jednom rekao: „Trenutno je najtužnija pojava u društvu to što znanost brže prikuplja znanje, nego što društvo prikuplja mudrost." Za razliku od informacija, mudrost se ne može širiti putem blogova i internetskih chatova. Budući da se utapamo u moru informacija, u modernom je društvu najcjenjenija roba mudrost. Bez mudrosti i oštroumnosti prepušteni smo lutanju bez cilja i svrhe, s dubokim osjećajem praznine nakon što svježina neprebrojivih novih informacija ishlapi.

Ali, kako doći do mudrosti? Dijelom mudrost izvire u argumentiranim i učenim demokratskim raspravama suprotstavljenih strana. Ta je rasprava često ružna, i uvijek vrlo glasna, ali sva ta buka na kraju izrodi istinsko razumijevanje. U našem društvu ta se rasprava pojavljuje u obliku demokracije. Kao što je Winston Churchill jednom primijetio: "Demokracija je najgori

oblik vladavine, osim svih drugih koji su s vremena na vrijeme bili iskušavani."

Demokracija, dakle, nije jednostavna. Morate na njoj raditi. George Bernard Shaw jednom je rekao: "Demokracija je sredstvo koje jamči da će nama vladati upravo onako kako zaslužujemo."

Danas se internet, sa svim svojim vrlinama i manama, pojavljuje kao čuvar demokratskih sloboda. Problemi o kojima se nekada raspravljalo iza zatvorenih vrata danas se seciraju i analiziraju na tisućama web stranica.

Diktatori žive u strahu od interneta, bojeći se što će biti kada njihov narod ustane protiv njih. Tako je danas noćna mora 1984. prošla, jer se internet pretvorio iz instrumenta terora u instrument demokracije.

Iz bučnih rasprava izvire mudrost. Najsigurniji način da se potakne živahna, demokratska rasprava jest kroz obrazovanje, jer samo obrazovano biračko tijelo može donositi odluke o tehnologijama koje će odrediti sudbinu naše civilizacije. U konačnici, ljudi će sami za sebe odlučiti koliko daleko ići s tehnologijom, i u kojim smjerovima bi se trebala razvijati, ali samo informirano, obrazovano biračko tijelo može mudro donositi takve odluke.

Nažalost, mnogi su sasvim nesvjesni golemih izazova koji nas očekuju u budućnosti. Kako da stvorimo nove industrije koje će zamijeniti stare? Kako ćemo mlade ljude pripremiti za tržište rada u budućnosti? Do koje granice ići s genetičkim inženjeringom kod ljudi? Kako da obnovimo raspadajući, neučinkoviti obrazovni sustav da bi mogao zadovoljiti izazove budućnosti? Kako da se suočavamo s globalnim zagrijavanjem i nuklearnom proliferacijom?

Ključ za demokraciju je obrazovano, informirano biračko tijelo koje može razumno, hladne glave raspravljati o dnevnim pitanjima. Svrha te knjige je pomoći započeti raspravu koja će odrediti kako će se ovo stoljeće dalje razvijati.

BUDUĆNOST KAO TERETNI VLAK

U krajnjoj liniji, budućnost sami stvaramo. Ništa nije uklesano u kamen. Kao što je Shakespeare napisao u Juliju Cezaru: "Grješka, dragi Brute, nije u našim zvijezdama, nego u nama samima..." Ili, kako je Henry Ford, možda manje rječito, jednom rekao: "Povijest su više-manje isprazne riječi. To je tradicija. Tradiciju ne želimo. Želimo živjeti u sadašnjosti, a jedina povijest vrijedna pažnje je ona koju stvaramo danas."

Dakle, budućnost je kao teretni vlak koji se približava tračnicama prema nama. Iza tog vlaka su muka i znoj tisuća znanstvenika koji smišljaju budućnost u svojim laboratorijima. Može se čuti zvižduk vlaka, koji govori: biotehnologija, umjetna inteligencija, nanotehnologija i telekomunikacije. Međutim, neki reagiraju tako da govore: "Prestar sam. Ne mogu to naučiti. Jednostavno ću leći i pustiti da me vlak pregazi." Međutim, mladi, energični i ambiciozni reagiraju tako da govore: "Pustite me u vlak! Taj vlak predstavlja moju budućnost. To je moja sudbina. Pustite me na vozačko sjedalo."

Nadajmo se da će ljudi tog stoljeća koristiti mač znanosti mudro i suosjećajno.

No, da bismo možda bolje razumjeli kako bismo mogli živjeti u planetarnoj civilizaciji, bilo bi uputno proživjeti jedan dan 2100., da bismo vidjeli kako će te tehnologije utjecati na našu svakodnevicu, kao i na naše karijere, nade i snove.

9. TIPIČAN DAN GODINE 2100.

Od Aristotela do Tome Akvinskog, savršenstvom se smatrala mudrost ukorijenjena u iskustvu i u odnosima u kojima se moralni život uči kroz primjere. Naše savršenstvo ne leži u poboljšanju gena, nego u poboljšanju našeg karaktera.

— STEVEN POST

1. SIJEČNJA 2100., 6:15

Nakon provedene burne novogodišnje noći, čvrsto spavate.

Odjednom, vaš se zidni zaslon uključi. Prijateljsko, poznato lice pojavi se na zaslonu. To je Molly, softver koji ste nedavno kupili. Molly vas veselo obavještava: "Johne, probudi se. Trebaju te osobno u uredu. Važno je."

"Ma čekaj malo, Molly! Mora da se šališ." – gunđate. "Pa Nova Godina je i imam mamurluk. Što je to tako važno da ne može čekati?"

Polako se izvlačite iz kreveta i nevoljko idete u kupaonicu. Dok se umivate, stotine DNA i proteinskih senzora skrivenih u ogledalu, toaletu i umivaoniku bacaju se na posao, analiziraju molekule iz vašeg daha i tjelesnih tekućina, tražeći i najmanji nagovještaj bilo kakve bolesti na molekularnoj razini.

Izlazeći iz kupaonice omotavate oko glave neke žice koje vam omogućuju da telepatski nadzirete svoj dom: mislima povisujete temperaturu u stanu, uključujete neku umirujuću glazbu, naređujete svom kuharu-robotu da pripremi neki doručak i kavu, a svom automobilu na magnetski pogon da iziđe iz garaže i bude spreman da vas pokupi. Ulazeći u kuhinju,vidite kako mehaničke ruke vašeg kuhara-robota spravljaju jaja baš onako kako vi volite.

Zatim stavite svoje kontaktne leće i priključujete se na internet. Trepćući, vidite kako internet osvjetljava mrežnicu vašeg oka. Dok ispijate kavu, počinjete pregledavati naslove koji vam se pojavljuju na kontaktnoj leći.

- Ispostava na Marsu treba dodatne zalihe. Zima na Marsu se približava. Ako naseljenici žele završiti sljedeći korak kolonizacije, trebaju više sredstava sa Zemlje, kako bi se mogli nositi s velikom hladnoćom. Plan je započeti sa stvaranjem zemaljskih uvjeta na Marsu povisujući mu površinsku temperaturu.

- Prvi svemirski brodovi spremni su za lansiranje. Milijuni nanorobota, svaki veličine vrška igle, bit će izbačeni s baze na Mjesecu, zakrenut će kod Jupitera koristeći njegovo magnetsko polje i uputiti se prema obližnjoj zvijezdi. Trebat će, međutim, godine da šačica tih

nanorobota dospije na svoje odredište u drugom zvjezdanom sustavu.

•

Još jedna izumrla životinja stiže u lokalni zoološki vrt. Ovoga se puta radi o rijetkom sabljastom tigru, kojeg su dobili iz uzorka DNA nađenog smrznutog u tundri. Budući da se Zemlja zagrijala, pronalaze se uzorci DNA sve više izumrlih životinja koje se zatim kloniraju i smještaju u zoološke vrtove diljem svijeta.

•

Svemirskim dizalom, nakon što je godinama služilo za tegljenje tereta u svemir, sad može putovati i ograničen broj turista. Cijena svemirskih putovanja već je posljednjih godina pala 50 puta u odnosu na vrijeme kad je svemirsko dizalo otvoreno.

•

Najstarije fuzijske elektrane stare su već skoro 50 godina. Došlo je vrijeme da se započne s razgradnjom nekih od njih i izgradnjom novih.

•

Znanstvenici pomno nadziru novi smrtonosni virus koji se iznenada proširio iz Amazone. Zasad je ograničen na malo područje, ali još nema lijeka. Znanstvenici marljivo izdvajaju gene virusa kako bi mu pronašli slabe točke i način borbe protiv njega.

Odjednom vam nešto zapne za oko:

•

Iznenada je otkrivena velika pukotina na nasipima što okružuju Manhattan. Ako se nasipi ne poprave, cijeli bi grad mogao biti potopljen, kao što se desilo s brojnim drugim gradovima u prošlosti.

"Uhu!" – kažete sami sebi – "Zato su me, dakle, zvali iz ureda i probudili."

Preskačete doručak, oblačite se i izjurite van. Vaš automobil, koji je sam došao iz garaže, čeka vas vani. Telepatski naredite automobilu da vas što prije odveze do ureda. Automobil na magnetski pogon odmah se povezuje s internetom, GPS-om i milijardama čipova skrivenim u cesti, koji stalno nadziru promet.

Vaš automobil na magnetski pogon tiho polazi, lebdeći na magnetskom jastuku kojeg stvara supravodljiva cesta. Mollyno lice se odjednom pojavljuje na vjetrobranskom staklu vašeg automobila. "Johne, iz ureda su zadnje javili da se nađeš sa svima u dvorani za sastanke. Također, imaš videoporuku od sestre."

Budući da auto vozi sam, imate vremena pogledati video poruku što vam je poslala sestra. Njezin lik pojavljuje se na vašem ručnom satu i kaže: "Johne, ne zaboravi da ovog vikenda imamo Kevinovu rođendansku proslavu, navršava šest godina. Obećao si mu kupiti najnovijeg psa-robota. Usput, viđaš li se s nekim? Igrala sam bridž na internetu i upoznala nekog tko bi ti se mogao svidjeti."

"Oho!" – promrmljate si.

Uživate se voziti u svom automobilu. Ne morate razmišljati o izbočinama i rupama na cesti, jer automobil lebdi iznad nje. Najbolje od svega je to što se vrlo rijetko morate opskrbljivati gorivom jer gotovo i nema trenja koje bi vas usporavalo. (Razmišljate kako je teško povjerovati da

je na početku stoljeća bila energetska kriza. Klimate glavom shvaćajući da je većina te energije bila izgubljena na svladavanje trenja.)

Prisjećate se kada je tek otvorena supravodljiva autocesta. Mediji su oplakivali poznato nam razdoblje elektriciteta koje je na zalasku, najavljujući novo doba magnetizma. Zapravo, razdoblje elektriciteta vam nimalo ne nedostaje. Gledajući van, vidite uglađene, tihe automobile, kamione i vlakove koji fijuču pokraj vas i shvaćate da je magnetizam pravi put i još k tome štedi novac.

Vaš automobil upravo prolazi pokraj gradskog odlagališta otpada. Većina otpada su računalni i robotski dijelovi. Budući da su smiješno jeftini, čak jeftiniji od vode, zastarjeli čipovi se gomilaju na gradskim odlagalištima diljem svijeta. Razmatra se zakapanje čipova u tlo.

URED

Napokon stižete do zgrade u kojoj je vaš ured, do sjedišta glavne graditeljske tvrtke. Dok ulazite, jedva da primjećujete laser koji vam tiho provjerava šarenicu oka i prepoznaje vam lice. Nema više potrebe za plastičnim identifikacijskim karticama. Vaše tijelo dovoljno je za prepoznavanje.

Dvorana za sastanke je gotovo prazna, samo par kolega sjedi za stolom. Ali onda se u vašoj kontaktnoj leći brzo oko stola počinju materijalizirati 3-D slike sudionika. Oni koji ne mogu doći u ured prisutni su holografski.

Pogledom preletite po dvorani. Vaša kontaktna leća identificira sve koji sjede za stolom, prikazujući usput i njihove životopise i obrazovanje. Primjećujete da je prisutno podosta velikih faca. Pamtite listu važnih ljudi koji su prisutni.

Lik vašeg šefa odjednom se materijalizira u svojem naslonjaču. “Gospodo”, počinje on “kao što ste vjerojatno čuli, nasipi oko Manhattana iznenada su počeli popuštati. Stvar je ozbiljna, ali uočili smo na vrijeme pa nema opasnosti od urušavanja. Ipak, roboti koje smo poslali da poprave nasipe, nažalost, nisu uspjeli.”

Odjednom se priguše svjetla i nađete se potpuno okruženi 3-D podvodnim slikama nasipa. Potpuno ste uronjeni u vodu, a pred nosom vam je prizor nasipa s velikom pukotinom.

Dok se slika okreće možete točno vidjeti gdje se pojavila pukotina. Čudna, duboka pukotina u nasipu privuče vam pozornost. “Roboti ovo ne mogu sami”, nastavlja šef. “Za ovu vrstu pukotine nisu programirani. Moramo tamo poslati iskusne ljude koji će moći procijeniti stanje i improvizirati. Ne moram vam ni spominjati, ako ne uspijemo, New York bi mogao doživjeti istu sudbinu kao neki drugi veliki gradovi koji su sada pod vodom.”

Strepnja se uvuče u ljude. Svi su svjesni imena velikih gradova koji su morali biti napušteni zbog porasta morske razine. Iako su obnovljivi izvori energije i nuklearna energija još prije više desetljeća zamijenili fosilna goriva kao glavni izvor energije na planetu, još se osjećaju posljedice emisija ugljičnog dioksida u atmosferu iz prve polovice prošlog stoljeća.

Nakon duge rasprave odlučeno je da se pošalje ljudski nadzirana robotska interventna ekipa. Tu vi nastupate. Sudjelovali ste u stvaranju tih robota. Uvježbani ljudi ulaze u kabine, gdje im se na glave spajaju elektrode. iz tih kabina ljudi mogu vidjeti i osjetiti sve što i roboti vide i osjećaju. Kao da su osobno tamo, ali u novom, tijelu nadljudskih mogućnosti.

Opravdano ste ponosni na svoj rad. Ti telepatski upravljani roboti već su nebrojeno puta pokazali svoju vrijednost. Bazom na Mjesecu uglavnom upravljaju ljudi, koji potpuno sigurni udobno leže u svojim kabinama na Zemlji. No, budući da radiosignalu treba oko jedne sekunde da stigne do Mjeseca, moraju biti obučeni da uzmu u obzir taj vremenski zaostatak u slanju informacija.

(Rado biste postavili svoje robote i na Mars, ali odlučeno je da bi komunikacija s robotima na Marsu bila preteška, jer signalu treba i do dvadesetak minuta da dospije do Marsa i dvadesetak minuta da se vrati. Bez obzira na sav naš napredak, jednu stvar ipak ne možemo kontrolirati: brzinu svjetlosti.)

No, još vas nešto muči na sastanku.

Napokon se ohrabrite da prekinete šefa. "Gospodine, nerado ovo govorim, ali, gledajući pukotinu u nasipu, moram reći da mi se ona čini kao djelo nekog od naših robota."

Glasni žamor odmah se proširi dvoranom. Čujete glasne prigovore: "Naših robota? Nemoguće. Glupost. To se još nikada nije dogodilo", prosvjeduju ljudi.

Zatim šef smiri ljude i odgovori ozbiljno: "Očekivao sam da će netko postaviti to pitanje, i samo vam želim reći da je to pitanje od velike važnosti, koje mora ostati u strogoj tajnosti. Ta informacija ne smije izići iz ove dvorane prije nego što sastavimo vlastito izvješće za novine. Da, pukotinu je napravio jedan od naših robota koji je iznenada izmakao kontroli."

Dolazi do zbrke na sastanku. Ljudi zabrinuto klimaju glavama. Kako se to moglo dogoditi?

"Naši su roboti do sada savršeno radili", tvrdi šef. "Bez ijedne mrlje. Nijedan robot još nikada nije učinio nikakvu štetu. Njihov mehanizam kontrole štetnog ponašanja pokazao se učinkovitim već više puta. Iza toga stojimo. No, kao što znate, naša najnovija generacija unaprijeđenih robota koristi kvantna računala, koja su najjača dostupna, čak se mogu uspoređivati s ljudskom pameću. A u kvantnoj teoriji uvijek postoji mala, ali točno određena vjerojatnost da će se nešto loše dogoditi. U ovom slučaju roboti su pomahnitali."

Spustite se natrag u svoju stolicu, pogođeni vijestima.

PONOVO KOD KUĆE

Dan je bio jako dug, najprije ste organizirali robotsku interventnu ekipu da popravi nasip, a onda ste još pomagali da se deaktiviraju svi pokusni roboti koji koriste kvantna računala, bar dok se konačno ne riješi taj problem. Napokon ponovo stižete kući. Iscrpljeni ste. I taman kad ste se udobno smjestili na sofi, na zidnom zaslonu pojavi se Molly. "Johne, imaš važnu poruku od dr. Browna."

Od dr. Browna? Što vam to vaš robot-liječnik ima za reći?

"Stavi ga na zaslon", kažete Molly. Liječnik se pojavi na zidnom zaslonu. "Dr. Brown" zvuči tako stvarno da ponekad zaboravite da je to samo računalni program.

"Oprosti što te ometam, Johne, ali moram ti na nešto ukazati. Sjećaš li se svoje lanjske skijaške nezgode, ono kada si umalo poginuo?"

Kako biste zaboravili? Još uvijek vas presiječe kad se sjetite kako ste se zaletjeli u stablo prilikom skijanja u onome što je ostalo od Alpa. Budući da se većina alpskog snijega već otopila, morali ste izabrati neko nepoznato odmorište na velikoj visini. Nenavikli na takav teren, slučajno ste se okliznuli niz veliki nagib i zaletjeli se u gomilu stabala brzinom od oko 65 km/h. Jao!

Dr. Brown dalje kaže: "Prema mojim podacima, onesvijestio si se, dobio potres mozga i teške unutarnje ozlijede, ali odjeća ti je spasila život."

Iako ste se onesvijestili, vaša odjeća je automatski pozvala hitnu pomoć, pripremila vašu povijest bolesti i dojavila vaš točan položaj. A onda su u bolnici roboti izveli mikrokirušku operaciju kojom je zaustavljeno krvarenje, zašili oštećene krvne žile i ostale rane.

"Tvoj želudac, jetra i crijeva nije bilo moguće spasiti", podsjeća vas dr. Brown. "Srećom, uspjeli smo ti u posljednji čas uzgojiti nove organe."

Odjednom se pomalo i sami osjećate kao robot, jer vam se veliki dio tijela sastoji od organa uzgojenih u tvornici tkiva.

"Znaš, Johne, moji podaci pokazuju i da si mogao nadomjestiti svoju smrskanu ruku potpuno mehaničkom. Najnovija robotska ruka povećala bi ti snagu u ruci pet puta. Ali ti si to odbio."

"Da", odgovarate. "Valjda sam još uvijek staromodan. Između mesa i čelika, uvijek ću odabrati meso", kažete.

"Johne, moramo obaviti redovitu kontrolu tvojih novih organa. Uzmi uređaj za magnetsku rezonanciju i polako ga prevuci iznad trbuha."

Odlazite u kupaonicu i uzimate malu napravu, veličine mobitela, i polako ju prevlačite iznad svojih organa. Odmah se na zidnom zaslonu pojavljuje 3-D prikaz vaših unutarnjih organa.

"Johne, analizirat ćemo ove slike da vidimo kako se tvoje tijelo oporavlja. Usput, jutros su DNA-senzori u tvojoj kupaonici otkrili da ti se u gušterači razvija rak."

"Rak?" – ustanete. Zbunjeni ste. "Pa mislio sam da je rak odavno izliječen. Nitko više o njemu ni ne govori. Kako mogu imati rak?"

"Znanstvenici zapravo nikad nisu izliječili rak. Recimo da s rakom imamo primirje, bezizlaznu situaciju. Postoji previše vrsta raka. Kao i prehlada. Ni to nikada nismo izliječili, jednostavno se držimo na sigurnoj udaljenosti. Poslao sam nekoliko nanočestica da ubiju te stanice raka. Ima ih samo nekoliko stotina. Rutinski posao. Ali, bez te intervencije vjerojatno bi umro za oko sedam godina", hladnokrvno će on.

"Uh, kakvo olakšanje", kažete sami sebi.

"Da, danas možemo otkriti rak godinama prije nego se razvije tumor", kaže dr. Brown.

"Tumor? Što je to?"

"Ah, to je staromodan naziv za vrstu uznapredovalog raka. Taj je izraz uglavnom nestao iz upotrebe. Više ih uopće ne susrećemo", dodaje dr. Brown.

Zatim se sjetite da ste u svom tom uzbuđenju zaboravili da vam je sestra zaprijetila da će vas

upoznati s nekim. Ponovno pozivate Molly.

"Molly, ovaj vikend nemam ništa planirano, možeš li mi ugovoriti spoj? Znaš kakve osobe volim."

"Da, tvoje su sklonosti pohranjene u mojoj memoriji. Pričekaj trenutak, da pretražim internet." Za oko minutu, Molly na zaslonu prikazuje profile obećavajućih kandidatkinja koje također sjede pred svojim zidnim zaslonima i postavljaju isto pitanje.

Nakon što ste pregledali sve profile, odabirete kandidatkinju koja vam najviše odgovara. Ta osoba, imenom Karen, izgleda nekako posebno, pomislite. "Molly, pošalji Karen ljubaznu poruku i pitaj je li slobodna ovaj vikend? Ima neki novi, nedavno otvoren, restoran u koji želim otići."

Molly zatim pošalje Karen vaš video profil elektroničkom poštom.

Te večeri opuštate se u društvu nekoliko kolega s posla, koji su došli na pivo i gledati nogomet. Vaši su prijatelji mogli gledati s vama utakmicu pojavljujući se u vašem dnevnom boravku i u obliku hologramskih slika, ali nekako je veći užitak navijati za domaću momčad ako vam se prijatelji pridruže osobno. Smiješite se, zamišljajući da je tako moralo biti i prije mnogo tisuća godina kad su se družili špiljski ljudi.

Odjednom se čitava soba osvijetli i imate osjećaj kao da ste na samom terenu, na centru. Dok igrači dodaju loptu prema naprijed, vi stojite u neposrednoj blizini. Utakmica se odvija posvuda oko vas.

Tijekom poluvremena s prijateljima ocjenjujete igrače. Uz pivo i kokice gorljivo raspravljate o tome tko najviše trenira, izvodi najzahtjevnije vježbe, ima najbolje trenere, najboljeg genskog terapeuta. Vaša domaća momčad, svi se slažete, ima najboljeg genetičara u ligi i najbolje gene koje novac može kupiti.

Nakon što su vaši prijatelji otišli, još uvijek ste previše uzbuđeni da biste spavali. Stoga odlučite još odigrati kratku partiju pokera prije spavanja.

"Molly!" – zovete. "Kasno je, ali htio bih započeti poker. Imam dobar osjećaj. Sigurno ima netko budan u Engleskoj, Kini, Indiji ili Rusiji tko bi upravo htio odigrati koju partiju."

"Nema problema", kaže Molly. Niz obećavajućih kandidata pojavljuje se na zaslonu. Dok se 3-D slike svakog igrača materijaliziraju u vašem dnevnom boravku, pokušavate odlučiti tko od njih zna najbolje blefirati. Smiješno je, pomislite, da bolje poznajete ljude iz tisućama kilometara udaljenih zemalja, nego svoje prve susjede. Državne granice ne znače puno ovih dana.

Konačno, prije nego napokon zaspete, Molly vas još jednom prekine, pojavljujući se na ogledalu u kupaonici.

"Johne, Karen je prihvatila tvoj poziv. Sve je dogovoreno za ovaj vikend. Rezervirat ću vam stol u novom restoranu. Želiš li pročitati što je napisala o sebi? Želiš li da pretražim internet i provjerim je li bila iskrena? Ljudi često... ah... lažu o sebi."

"Ne" – odgovarate. "Neka to bude iznenađenje za vikend." Nakon partije pokera opet imate dobar osjećaj.

VIKEND

Vikend je i vrijeme da odete kupiti poklon za Kevina. “Molly, prikaži izloge na zaslonu.”

Izlozi se odjednom pojavljuju na zaslonu. Mašete rukama i prstima, a slika na zidnom zaslonu vodi vas između izloga. Nastavljate virtualnu šetnju dok ne naiđete na sliku trgovine igračkama. Odlično, imaju upravo ono što trebate. Telepatski naredite automobilu da vas odveze do trgovine. (Mogli ste naručiti igračku i putem interneta. Ili ste mogli elektroničkom poštom dobiti nacrt i proizvesti igračku pomoću svog uređaja za proizvodnju iz programirane materije. Ali, dobro je maknuti se malo iz stana i otići u kupovinu s vremena na vrijeme.)

Kružeći u svom automobilu na magnetski pogon, gledajući van vidite ljude u šetnji. Tako je lijep dan. Vidite i robote raznih vrsta. Robote koji šeću pse, robote trgovce, kuhare, recepcionare i ljubimce. Čini se da je sve što je opasno, što se ponavlja ili zahtijeva samo najjednostavniju ljudsku interakciju, povjereno robotima. Zapravo, robotika je sada veliki biznis. Posvuda vidite oglase u kojima se traži netko tko zna popraviti, održavati, nadograditi ili izgraditi robote. Tko god se bavi robotikom ima blistavu budućnost. Robotska industrija jača je od automobilske industrije prošlog stoljeća. Shvaćate da je većina robota zapravo skrivena od pogleda, neprimjetno popravlja gradsku infrastrukturu i pruža osnovne usluge.

Kad stignete do trgovine igračkama, robot-trgovac vas pozdravi na ulazu. “Mogu li vam pomoći?” – pita vas.

“Da, htio bih kupiti psa-robota.”

Pregledavate najnovije pse-robote. Nevjerojatno je što sve ti ljubimci-roboti mogu, pomislite. Znaju se igrati, trčati, loviti, raditi sve što psi rade. Sve, osim mokriti po tepihu. Možda ih baš zato roditelji kupuju djeci, mislite si.

Zatim kažete trgovcu-robotu: “Želim kupiti ljubimca-robota svom šestogodišnjem nećaku. On je vrlo inteligentan i spretan dječak. Ali, ponekad je također sramežljiv i povučen. Kakva vrsta psa bi mu mogla pomoći da se otvori?”

Robot odgovara: “Žao mi je, gospodine, za to nisam programiran. Možda vam mogu ponuditi svemirsku igračku?”

Zaboravili ste da su roboti, koliko god svestrani bili, još jako daleko od razumijevanja ljudskog ponašanja.

Odlazite na odjel s muškom odjećom. Vrijeme je da zamijenite onu svoju iznošenu odjeću, ako želite impresionirati Karen. Isprobavate skupocjena odijela. Sva izgledaju vrlo elegantno, ali nijedno vam veličinom ne odgovara. Razočarani ste. Onda izvadite svoju kreditnu karticu, na kojoj su pohranjene vaše točne 3-D mjere. Vaši se podaci prenose u računalo i u tvornici se šije novo odijelo koje će ubrzo biti poslano na vašu kućnu adresu. Točno po mjeri, svaki put.

Naposljetku odlazite u samoposluživanje. Provjeravate sve čipove skrivene u svakom artiklu, a zatim u svojim kontaktnim lećama uspoređujete cijene da ustanovite koja trgovina u gradu ima najbolje i najjeftinije proizvode. Više nema nagađanja o tome tko ima najniže cijene.

SPOJ

Cijeli se tjedan veselite tom spoju. Iznenađuje vas što se, spremajući se za spoj, osjećate kao zaljubljeni školarac. Razmišljate kako biste, ako želite pozvati Karen u svoj stan nakon večere, trebali ozbiljno preurediti svoj zastarjeli namještaj. Na sreću, većina kuhinjskog i namještaja u dnevnom boravku je od programirane materije.

"Molly, možeš li mi pokazati katalog novog kuhinjskog namještaja koje nudi proizvođač?" – pitate. "Želim preurediti namještaj. Izgleda tako staro."

Uskoro se na zaslonu pojavljuju slike najnovijeg namještaja.

"Molly, molim te preuzmi nacrte za ovaj kuhinjski namještaj, onu sofu i onaj stol. I instaliraj ih, molim te."

Dok se vi spremate za spoj, Molly preuzima i instalira nacrte. Trenutno se kuhinjski namještaj, sofa iz dnevnog boravka i stol počinju rastapati i pretvarati u nešto poput kita, a zatim postupno poprimaju nove oblike. Za sat vremena vaš stan ima potpuno nov izgled. (Nedavno ste na internetu pregledavali stranice o nekretninama i primijetili da kuće od programirane materije ulaze u modu. Štoviše, u vašoj inženjerskoj tvrtci postoje ambiciozni planovi o izgradnji čitavog grada od programirane materije u pustinji. Pritisneš gumb i – puf! – evo ti grada.)

Čini vam se da vaš stan još uvijek izgleda pomalo jednolično. Mahnete rukom, a uzorak i boja vaših tapeta odmah se promijene. Pomislite kako je imati pametne tapete u svakom slučaju bolje nego da morate prebojiti zidove.

Usput kupite cvijeće i konačno odlazite po Karen. Ugodno se iznenadite. Odmah se dobro slažete. Nešto je kliknulo.

Na večeri saznajete da je Karen umjetnica. Naravno, šali se ona, mogla bi biti bez novca, gladovati i prodavati slike na ulici da bi preživjela. Umjesto toga, vrlo je uspješna web dizajnerica. Čak ima i vlastitu tvrtku. Izgleda da svi žele imati najnoviji web dizajn na svojim stranicama. Potreba za kreativnim umjetnicima je vrlo velika.

Prstima crta krugove po zraku i u njima se pojavljuju neke njezine animacije. "To su neke od mojih najnovijih ideja" – kaže ona ponosno.

Vi komentirate: "Znaš, kao inženjer, radim s robotima cijeli dan. Neki od njih su poprilično napredni, ali katkad su i prilično glupavi. A zadiru li roboti u tvoje poslove?"

"Apsolutno ne" – buni se. Karen kaže da radi isključivo s kreativnim ljudima, gdje je najcjenjenija osobina mašta, nešto što nedostaje i najnaprednijim robotima.

"Možda sam staromodna, ali u mom poslu koristimo robote samo za kopiranje i obavljanje uredskih poslova" – kaže ona ponosno. "Da mi je vidjeti kad će roboti moći učiniti nešto zaista originalno, npr. ispričati vic, napisati roman ili komponirati simfoniju."

To se još nije dogodilo, ali moglo bi se dogoditi, pomislite u sebi.

Dok ona priča, zapitate se: koliko ima godina? Budući da je proces starenja već godinama medicinski usporen, ne možete pogoditi koliko je tko star. Na njezinoj web stranici nije bilo podatka o njezinoj dobi, ali ne izgleda ni dana starije od 25 godina.

Nakon što ste je odveli kući, počinjete maštati. Kako bi bilo živjeti s nekim poput nje?

Provesti ostatak života s njom? Ali, nešto vas muči. Cijeli dan vam ne da mira.

Stanete pred zidni zaslon i kažete: “Molly, molim te pozovi mi dr. Browna.” Odjednom ste zahvalni što liječnici-roboti dolaze u kućne posjete u bilo koje doba dana. I nikad se ne žale i ne izmotavaju. Nisu za to programirani.

Lik dr. Browna odmah se pojavi na zidnom zaslonu. „“Muči li te nešto, sinko?” – pita onako očinski.

“Doktore, moram vas pitati nešto što me muči u posljednje vrijeme.”

“Reci, o čemu se radi?” – pita dr. Brown.

“Doktore, što mislite koliko ću dugo živjeti?” – kažete vi.

“Misliš koliki je tvoj očekivani životni vijek? Pa, zapravo ne znamo. Tvoji podaci govore da imaš 72 godine, ali biološki tvoji organi su u stanju jednog tridesetogodišnjaka. Ti si član prve generacije koja je genetski reprogramirana da živi dulje. Izabrao si da zaustaviš starenje oko tridesete godine. Još uvijek nije umrlo dovoljno tvojih vršnjaka da bismo imali relevantne podatke. Stoga ne možemo znati koliko dugo ćeš živjeti.”

“Mislite li da ću živjeti vječno?” – pitate.

“Biti besmrtan?” – namršti se dr. Brown. “Ne, ne bih to rekao. Velika je razlika između vječnog života i dugog životnog vijeka koji još nije izmjeren.”

“Ali, ako ne starim, kako da znam kada da...” – zaustavite se upola rečenice. “No, dobro... Vidiš, upravo sam nekog upoznao, nekog posebnog i, pod pretpostavkom da želim planirati život s njom, kako da prilagodim svoja životna razdoblja s njezinima? Ako moja generacija nije još dovoljno živjela da netko umre,” – nastavljate – “kako da znam kada da se oženim, imam djecu i za kada da planiram umirovljenje? Razumiješ? Kako da isplaniram životne prekretnice?”

“Na to ti ne mogu odgovoriti. Ljudi su trenutno neka vrsta pokusnih kunića” – kaže dr. Brown. “Žao mi je, Johne. Tu si u neistraženim vodama.”

SLJEDEĆIH NEKOLIKO MJESECI

Sljedećih nekoliko mjeseci je iznenađujuće lijepo za vas i Karen. Vodite je u salon virtualne stvarnosti i ludo se zabavljate živeći izmišljene živote. Kao da ste opet djeca. Uđete u praznu sobu. Softver virtualnog svijeta osvijetli vam kontaktne leće i prizor se u trenu promijeni. U jednom programu bježite od dinosaura, ali kamo god pobjegli iz grmlja iskaču novi dinosauri. U drugom programu borite se protiv vanzemaljaca ili gusara pokušavajući se ukrcati na svoj brod. U nekom drugom odlučite promijeniti vrstu i preobraziti se u dva orla koji lebde visoko u zraku.

Nakon nekog vremena, Karen i vi želite pokušati nešto drugo. Umjesto da živite izmišljene živote, odlučite živjeti stvarne. Stoga odlučite zajedno provesti godišnji odmor putujući Europom.

Kažete zidu: “Molly, Karen i ja želimo isplanirati odmor u Europi. Pravi odmor. Molim te informiraj se o letovima, hotelima i ostalim ponudama. Zatim izlistaj izložbe i događaje koji bi nas mogli zanimati. Znaš naše ukuse.” Za nekoliko minuta Molly je pripremila detaljan plan puta.

Kasnije, šećući ruševinama rimskog Foruma, u svojim kontaktnim lećama vidite uskrslo Rimsko Carstvo. Prolazeći pored raštrkanih stupova, kamena i ruševina, vidite kako je nekad, na vrhuncu svoje slave, Rimsko Carstvo bilo moćno.

A kupovati je užitak, čak i kad se na talijanskom cjenkate u lokalnim trgovinama. Jasno možete vidjeti kako se pojavljuje prijevod ispod osobe s kojom razgovarate. I nema više vodiča i nespretnih karata. Sve to imate u kontaktnoj leći.

Noću, gledajući noćno nebo iznad Rima, u svojim kontaktnim lećama jasno vidite zvijezde poredane u zviježđima. Motreći nebo vidite uvećane slike Saturnovih prstena, letećih kometa, prekrasnih oblaka plina i eksplozija zvijezda.

Jednog dana, Karen konačno otkrije tajnu koliko je stara. Ima 61 godinu. Nekako se to više ne čini važnim.

"I Karen, osjećaš li se sretnije sada kada živimo tako dugo?"

"Da, da!" – odmah odgovori. „Znaš, moja je baka živjela u vrijeme kad bi se žena udala, imala obitelj i možda još u to nagurala karijeru. Ali, ja se osjećam kao da sam se triput reinkarnirala, imala tri karijere i nikad se nisam osvrtala iza sebe. Najprije sam bila turistički vodič u nekoliko zemalja i putovala svijetom. Bio je to lijep život. Turizam je tako opsežna djelatnost, s puno zanimanja. No, kasnije sam htjela raditi nešto važnije. Tako sam postala odvjetnica i zastupala slučajeve i ljude do kojih mi je bilo stalo. A onda sam odlučila udovoljiti svojoj umjetničkoj strani i osnovala svoju tvrtku za web dizajn. I mogu ti reći da sam ponosna što nikad nisam koristila robote. Nijedan robot ne može biti osobni turistički vodič, dobiti parnicu na sudu ili stvoriti lijepo umjetničko djelo."

To će vrijeme pokazati, mislite u sebi.

"Planiraš li i četvrtu karijeru?" – pitate je.

"Pa možda, ako se pojavi nešto bolje." Smiješi vam se.

"Karen" – pitate napokon – "ako prestanemo starjeti, kako ćemo znati kada je najbolje vrijeme da se, znaš, vjenčamo, imamo djecu i podignemo obitelj? Biološki sat je već desetljećima nevažan. Pa sam mislio, možda je vrijeme da se smirimo i osnujemo obitelj."

"Misliš da imamo djecu?" – kaže Karen pomalo iznenađena. "O tome nisam ozbiljno razmišljala. Bar ne do sada. Sve ovisi o tome hoće li se pojaviti pravi muškarac" – kaže ona, smiješeći vam se vragolasto.

Kasnije raspravljate s Karen o braku, o imenu koje biste mogli dati djetetu, o tome kakve gene želite da dijete ima.

Odete do zidnog zaslona i kažete: "Molly, možeš li nam pokazati popis najnovijih gena koje je vlada odobrila?" Dok pregledavate popis vidite razne gene za boju kose, boju očiju, visinu, stas, čak i neke osobine ličnosti koje se sada nude. Popis kao da se svaki dan povećava. Vidite i dugačak popis nasljednih bolesti koje se mogu izliječiti. Budući da se cistična fibroza javljala u vašoj obitelji stoljećima, olakšanje je što više o tome ne morate brinuti.

Pregledavajući listu odobrenih gena, osjećate se ne samo kao budući roditelj, nego i kao svojevrsni bog, stvarajući dijete po narudžbi, na vlastitu sliku.

Tada Molly kaže: “Postoji program koji može analizirati djetetovu DNA i na temelju toga prikazati procjenu kakvo će mu biti lice, oblik tijela i osobnost. Želite li preuzeti taj program i vidjeti kako bi vam dijete moglo izgledati?”

“Ne” – odgovarate. “Neke stvari trebaju ostati tajna.”

GODINU DANA POSLIJE

Karen je trudna, ali njezini liječnici je uvjeravaju da nema nikakve opasnosti ako se želi voziti u svemirskom dizalu, koje je sada otvoreno za turiste.

“Znaš” – priznajete Karen – “kao dijete sam uvijek želio otići u svemir, baviti se astronautskim stvarima. Ali, onda sam jednog dana shvatio da bi to zahtijevalo sjediti iznad milijuna galona lako hlapljivog raketnog goriva čiju eksploziju može izazvati i najmanja iskra. Tada je moje oduševljenje putovanjem u svemir počelo jenjavati. No svemirsko dizalo je nešto drugo. Čisto, sigurno, bez opasnosti. Tako treba putovati.”

Dok Karen i vi ulazite u dizalo, vidite kako vozač pritišće nešto nalik na tipku “Gore”. Napola očekujete da ćete uskoro ugledati odjel ženskog donjeg rublja. Umjesto toga osjećate kako se uzdižete u svemir. Osjećate polagano ubrzanje dok se brzo dižete u zrak. Mjerni instrument na dizalu pokazuje “15 km, 30 km, 45 km...”

Vidite kako se vanjski prizori mijenjaju iz sekunde u sekundu. U jednom trenutku vidite pahuljaste oblake kako prolaze pokraj vas dok se vozite kroz atmosferu. Zatim se boja neba promijeni od plave preko ljubičaste do potpuno crne, a onda ugledate posvuda oko sebe zvijezde u svom njihovom sjaju. Vidite zviježđa na način na koji ih još niste vidjeli, kako nestaju u daljini. Zvijezde ne trepere kao što se čini kada ih gledamo sa Zemlje, nego blistaju jasno kao i milijardama godina do sada.

Dizalo se lagano zaustavi na nekih 150 km od Zemlje. Iz svemira vidite zadivljujući prizor kakav ste do sada vidjeli samo na fotografijama.

Gledajući dolje, Zemlja vam se ukazuje u sasvim drugačijem svjetlu. Vidite oceane, kontinente i svjetla velikih gradova kako svijetle u svemir.

Iz svemira Zemlja se čini tako spokojnom da je teško vjerovati da su tamo ljudi nekoć prolijevali krv i ratovali zbog nekih besmislenih granica. Te granice i dalje postoje, ali se danas čine tako neobičnima, manje važnima u ovo vrijeme kad su komunikacije trenutne i sveprisutne.

Dok vam Karen naslanja glavu na rame, postajete svjesni da svjedočite rađanju nove planetarne civilizacije. A vaše će dijete biti među prvim građanima te nove civilizacije.

Zatim izvadite jednu staru, izlizanu knjigu iz svog stražnjeg džepa i pročitate joj riječi nekoga tko je umro prije više od stotinu godina. Podsjećaju vas na izazove s kojima će se suočiti čovječanstvo prije nego što dosegne razinu planetarne civilizacije.

Mahatma Gandhi jednom je napisao:

Korijeni nasilja:

Bogatstvo bez rada,

Užitak bez savjesti,

Znanje bez karaktera,

Trgovina bez morala,

Znanost bez ljudskosti,

Molitva bez žrtve,

Politika bez načela.

PREPORUČENO ŠTIVO

Archer, David. The Long Thaw: How Humans Are Changing the Next 100,000 Years of Earth's Climate. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2009.

Bezold, Clement, ur. 2020 Visions: Health Care Information Standards and Technologies.

Rockville, MD: United States Pharmacopeial Convention, 1993.

Brockman, Max, ur. What's Next? Dispatches on the Future of Science. New York: Vintage, 2009.

Broderick, Damien. The Spike: How Our Lives Are Being Transformed by Rapidly

Advancing Technologies. New York: Forge, 2001.

Broderick, Damien, ur. Year Million: Science at the Far Edge of Knowledge. New York: Atlas, 2008.

Brooks, Rodney A. Flesh and Machines: How Robots Will Change Us. New York: Vintage, 2003.

Brown, Lester. Plan B 4.0: Mobilizing to Save Civilization. New York: Norton, 2009.

Canton, James. The Extreme Future: The Top Trends That Will Reshape the World for the Next 5, 10, and 20 Years. New York: Dutton, 2006.

Coates, Joseph F., John B. Mahaffie i Andy Hines. 2025: Scenarios of U.S. and Global Society Reshaped by Science and Technology. Greensboro, NC: Oakhill Press, 1997.

Cornish, Edward, ur. Futuring: The Exploration of the Future. Bethesda, MD: World Future Society, 2004.

Crevier, Daniel. AI: The Tumultuous History of the Search for Artifi cial Intelligence. NewYork: Basic Books, 1993.

Davies, Paul. The Eerie Silence: Renewing Our Search for Alien Intelligence. Boston: Houghton Miffl in Harcourt, 2010.

Denning, Peter J., ur. The Invisible Future: The Seamless Integration of Technology into Everyday Life. New York: McGraw Hill, 2002.

Denning, Peter J. i Robert M. Metcalfe. Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing. New York: Copernicus, 1997.

Dertouzos, Michael. What Will Be: How the New World of Information Will Change Our Lives. New York: HarperCollins, 1997.

Didsbury, Howard F., Jr., ur. Frontiers of the 21st Century: Prelude to the New Millennium.

Bethesda, MD: World Future Society, 1999.

———. 21st Century Opportunities and Challenges: An Age of Destruction or an Age ofTransformation. Bethesda, MD: World Future Society, 2003.

Dyson, Freeman J. The Sun, the Genome, and the Internet: Tools of Scientifi c Revolutions.

New York: Oxford University Press, 1999.

Foundation for the Future. Future of Planet Earth: Seminar Proceedings. Bellevue, WA: Foundation for the Future, 2009; www.futurefoundation.org/publications/index

———. The Next Thousand Years. Bellevue, WA: Foundation for the Future, 2004.

Friedman, George. The Next 100 Years: A Forecast for the 21st Century. New York:Doubleday, 2009.

Hanson, William. The Edge of Medicine: The Technology That Will Change Our Lives. New York: Palgrave Macmillan, 2008.

Kaku, Michio. Visions: How Science Will Revolutionize the 21st Century. New York: Anchor, 1998.

Kurzweil, Ray. The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology. New York: Viking, 2005.

McElheny, Victor K. Drawing the Map of Life: Inside the Human Genome Project. New York: Basic Books, 2010.

McRae, Hamish. The World in 2020: Power, Culture, and Prosperity. Cambridge, MA: Harvard Business School, 1995.

Mulhall, Douglas. Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics,Genetics, and Artifi cial Intelligence Will Transform Our World. Amherst, NY: Prometheus, 2002.

Petersen, John L. The Road to 2015: Profiles of the Future. Corte Madera, CA: Waite Group, 1994.

Pickover, Clifford A., ur. Visions of the Future: Art, Technology and Computing in the Twenty first Century. New York: St. Martin's Press, 1994.

Rhodes, Richard, ur. Visions of Technology: A Century of Vital Debate About Machines, Systems, and the Human World. New York: Simon & Schuster, 1999.

Ridley, Matt. The Rational Optimist: How Prosperity Evolves. New York: HarperCollins, 2010.

Rose, Steven. The Future of the Brain: The Promise and Perils of Tomorrow's Neuroscience.

New York: Oxford University Press, 2005.

Seife, Charles. Sun in a Bottle: The Strange History of Fusion and the Science of Wishful

Thinking. New York: Viking Penguin, 2008.

Sheffield, Charles, Marcelo Alonso i Morton A. Kaplan, ur. The World of 2044: Technological Development and the Future of Society. St. Paul, MN: Paragon House, 1994.

Stock, Gregory. Redesigning Humans: Choosing Our Genes, Changing Our Future. Boston:Houghton Miffl in, 2003.

Thurow, Lester C. The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape

Tomorrow's World. New York: William Morrow, 1996.

Toffl er, Alvin i Heidi Toffler. Revolutionary Wealth. New York: Knopf, 2006.van der Duin, Patrick. Knowing Tomorrow? How Science Deals with the Future. Delft, Netherlands: Eburon, 2007.

Vinge, Vernor. Rainbows End. New York: Tor, 2006.

Watson, Richard. Future Files: The 5 Trends That Will Shape the Next 50 Years. London:Nicholas Brealey, 2008.

Weiner, Jonathan. Long for This World: The Strange Science of Immortality. New York:HarperCollins, 2010.

O AUTORU

MICHIO KAKU profesor je teorijske fizike na Gradskom Sveučilištu u New Yorku; suosnivač teorije struna; autor nekoliko vrlo hvaljenih znanstvenopopularnih uspješnica, među ostalim Hiperprostora i Fizike nemogućega – posljednja je poslužila i kao osnovica za njegov serijal na televiziji Science Channel, Znanost znanstvene fantastike: Fizika nemogućega – on je također i domaćin dvaju radijskih programa, Istraživanja i Fantastična znanost, emitiranih putem 140 radiopostaja.

O PREVODITELJU

JAKŠA BILIĆ, prof., diplomirao je na zagrebačkom Filozofskom fakultetu, nakon čega je upisao doktorski studij Ecole Pratique des Hautes Etudes u Parizu.

O REDAKTORU

Mr. sc. MARKO GRBA, završio je studij fizike na zagrebačkom Prirodoslovno matematičkom fakultetu, nakon čega upisuje postdiplomski studij filozofije fizike u Londonu. Autor je više od 40 popularnoznanstvenih članaka objavljenih u časopisima *Priroda*, te *Matematičko-fizičkom listu* na temu fizike, kemije, matematike i filozofije znanosti.

Objavljeni naslovi

Biblioteka GOSPODARSKA MISAO

Područje – EKONOMIJA

Budućnost kapitalizma, L. C. Thurow, 1997.

Budućnost mreže, C. Martin, 2000.

Čileansko iskustvo, skupina autora, 1996.

Država i poljoprivreda u Zapadnoj Europi 1880-1988, III. izdanje, M. Tracy, 1996.

Ekonomija, XIV. izdanje, P. A. Samuelson, W. D. Nordhaus, 1994.

Ekonomija, XV. izdanje, P. A. Samuelson, W. D. Nordhaus, 2000.

Ekonomija, XVIII. izdanje, P. A. Samuelson, W. D. Nordhaus, 2007.

Ekonomija, XIX. izdanje, P. A. Samuelson, W. D. Nordhaus, 2011.

Ekonomija u perspektivi; kritička povijest, J. K. Galbraith, 1995.

Ekonomija za menedžere, II. izdanje, D. Salvatore, 1994.

Ekonomija za svakoga, III. izdanje, R. L. Heilbroner, L. C. Thurow, 1995.

Ekonomika i okoliš, E. S. Goodstein 1995.

Englesko-hrvatski ekonomski rječnik, A. Babić, 2001.

Englesko-hrvatski i hrvatsko-engleski ekonomski rječnik, A. Babić, 2009.

E-Poslovanje, II. izdanje, R. Kalakota, M. Robinson, 2002.

Gartsideovi modeli poslovnih pisama, S. Taylor, 2003.

Hrana i poljoprivreda u tržišnom gospodarstvu, M. Tracy, 2000.

Makroekonomija, XV. izmijenjeno i dopunjeno izdanje, M. Babić, 2007.

Makroekonomija, III. izdanje, O. Blanchard, 2005.

Matematika za ekonomiste i managere, B. Gruić, I. Jemrić, I. Šutalo, H. Volarević, 2006.

Međunarodna ekonomija, VI. dopunjeno i izmijenjeno izdanje, M. Babić, A. Babić, 2003.

Međunarodna ekonomija, VII. izdanje, P. R. Krugman, M. Obstfeld 2009.

Mikroekonomija, V. izdanje, R. Pindyck, 2005.

Mikroekonomska analiza, V. izdanje, M. Babić, 2000.

Moderna mikroekonomika, II. izdanje, A. Koutsoyiannis, 1997.

O slobodnom tržištu – klasični eseji, L. von Mises i F. A. Hayek, 1998.

Odnosi s javnošću, S. M. Cutlip, A. H. Center, G. M. Broom, 2004.

Osnove ekonomije, G. Mankiw, 2006.

Osnovne metode matematičke ekonomije, III. izdanje, A. C. Chiang, 1994.

Počela ekonometrije, II. izdanje, J. Kmenta, 1997.

Počela ekonomske politike; Vrijednosti i tehnike, N. Acocella, 2005.

Počela političke ekonomije, B. Lorković, 1996.

Povijest ekonomske teorije i metode, III. izdanje, R. B. Ekelund, R. F. Herbert, 1998.

Premještanje usluga, R. E. Kennedy, A. Sharma, 2010.

Primijenjena matematika za poslovanje, ekonomiju, znanosti o živom svijetu i humanističke znanosti, VIII. izdanje, R. Barnett, M. Ziegler, K. Byleen, 2006.

Razumijevanje Vaše ekonomije, II. izdanje, M. L. McLean, 2009.

Stanovništvo i razvoj, A. Wertheimer-Baletić, 1999.

Suvremena ekonomija rada, III. izdanje, C. R. McConell, S. L. Brue, 1994.

Statistika za poslovanje i ekonomiju, Newbold, Carlson, Thorne, VI. izdanje, 2010.

Temelji ekonomske analize prava, S. Shavell, 2009.

Vodstvo, E. Chapman, S. O. Neill, 2003.

Vrednovanje marke, D. Predović, 2007.